

DOI: 10.15593/2224-9400/2022.4.05  
УДК 620.193.53

Научная статья

**Д.В. Саулин, В.А. Усцова, В.З. Пойлов,  
П.В. Сквородников, А.Л. Казанцев, С.А. Смирнов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГАЗОВАЯ КОРРОЗИЯ ОСНАСТКИ СТЕНДОВОЙ УСТАНОВКИ**

*Одним из видов коррозии металлов и сплавов является высокотемпературная газовая коррозия, возникающая при контакте деталей авиационных турбин, дизельных двигателей, печей и другого оборудования с продуктами сгорания при высокой температуре и приводящая к их дефектам или разрушению. Процессы газовой коррозии в каждом конкретном случае весьма специфичны, зависят от большого количества факторов и требуют их детального изучения в условиях приближенных к реальным условиям эксплуатации.*

*В работе представлены результаты исследования воздействия высокоскоростного потока продуктов сжигания авиационного керосина с добавкой до 200 мг/м<sup>3</sup> смеси солей Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl на нихромовую проволоку (сплав X20H80), используемую для крепления испытуемых образцов на испытательном стенде высокотемпературной газовой коррозии. В результате исследования шлифов сплава было обнаружено, что состав окалины на поверхности сплава значительно изменяется по толщине. Так, окалина, расположенная ближе к металлу, содержит большое количество соединений хрома, а на внешней поверхности обогащена соединениями никеля, что свойственно окислительной коррозии нихромового сплава. При этом в составе окалины не было обнаружено следов серы. В местах разрыва образца проволоки обнаружено большое количество микротрещин. Исследование состава окалины внутри одной из трещин также показало аналогичное распределение компонентов внутри окалины и отсутствие серы, что может свидетельствовать об одинаковом механизме образования окалины, как на поверхности проволоки, так и внутри микротрещин. Согласно литературным данным, данное распределение наблюдается при кислородной коррозии аналогичного сплава при высоких температурах.*

**Ключевые слова:** высокотемпературная газовая коррозия, нихромовый сплав, стендовая установка.

**D.V. Saulin, V.A. Ustsova, V.Z. Poilov,  
P.V. Skovorodnikov, A.L. Kazantsev, S.A. Smirnov**

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

## **HIGH-TEMPERATURE GAS CORROSION OF INVENTORY OF THE BURNER RIG TEST FACILITY**

*There are high-temperature gas corrosion is a one of types of metal's corrosion. It occurs during contact of parts of aircraft turbines, diesel engines, furnaces and other equipment with combustion products at high temperature, and leads to their defects or destruction. The processes of gas corrosion are very specific, depend on a large number of factors, and therefore require their detailed study in specific conditions, which close to the actual operating conditions of the parts.*

*The paper presents the results of a study of the effect of a high-speed flow of aviation kerosene combustion products with an additive of up to 200 mg/m<sup>3</sup> of a mixture of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaCl salts onto the NiCr wire (alloy Cr20Ni80), which has been used for specimens attaching at the burner rig test facility. During the material cuts specimens investigation it was define that the composition of the scale onto the alloy's surface varies significantly in thickness. The scale located closer to the metal have a large number of chromium compounds, and closer to the surface enriched of nickel compounds, which is characteristic for oxidative corrosion of a NiCr alloy. At the same time, a sulfur compound has not detected in the scale. A large number of microcracks were detecting in the places of rupture of the wire sample. The study of the scale composition inside one of the cracks also showed a similar distribution of components inside the scale and the absence of sulfur compound, which may indicate the same mechanism of scale formation for the surface of the wire and inside the microcracks. In according of a literature data, this component's distribution is specifically for oxygen corrosion of a similar alloy at high temperatures.*

**Keywords:** *high-temperature gas corrosion, NiCr alloy, burner rig.*

**Введение.** В авиационной и машиностроительной промышленности используется большое количество металлических конструкций и сплавов, которые подвергаются коррозионным процессам, одним из которых является высокотемпературная газовая коррозия. Вопросы защиты материалов от воздействия газовой коррозии до сих пор остаются неразрешенными, так как процесс определяется большим количеством параметров, и требует глубокого изучения. На настоящий момент известно, что скорость газовой коррозии определяется температурой, составом металла и газовой среды, свойствами продуктов коррозии, скоростью потока, которые определяют характеристики оксидной пленки, образующейся на поверхности металла, и влияющей на скорость дальнейшего коррозионного процесса [1–4].

Существует разные методы изучения высокотемпературной газовой коррозии: лабораторные и стендовые, из которых наибольший интерес представляют стендовые, так как они позволяют максимально близко моделировать реальные условия работы материала. Основу стендовой установки обычно составляет горелка, конструкция которой близка к конструкции камеры сгорания газотурбинных двигателей [5, 6], работающая на жидком или газовом топливе и выдающая поток дымовых газов заданных параметров на испытуемые образцы, закрепленные в оснастке. В свою очередь конструкция оснастки для закрепления испытуемых образцов в ходе испытаний зависит от вида испытаний и формы образцов. Следует отметить, что испытуемые образцы должны быть так закреплены в оснастке, чтобы не создавать на них дополнительных нагрузок или коррозионных воздействий, которые могут повлиять на результаты испытаний. Традиционное консольное крепление образцов в оснастке [7] не всегда является оптимальным. Например, при нанесении коррозионных повреждений на образцы, предназначенные для измерения прочности на разрыв и представляющие собой вид гантели с резьбой на утолщенных частях образца, по окончании испытаний должны будут закреплены в разрывной машине. По этой причине в ходе нанесения коррозионных повреждений на образцы их резьбовая часть должна быть защищена от коррозии. Одним из вариантов крепления таких образцов в высокоскоростном потоке дымовых газов при высокой температуре и в коррозионной среде может быть использование защитных колпачков, закрепленных с помощью проволоки из жаростойкого и жаропрочного сплава, не изменяющего своих свойств в ходе циклов нагрева и охлаждения. Например, в качестве такого сплава можно использовать нихром (X20H80), относящийся к хромоникелевым сплавам и широко используемый для изготовления нагревательных элементов электрических печей. Естественно, в ходе работы данный материал также будет подвергаться газовой коррозии, а его коррозионная стойкость в этом процессе будет определять надежность крепления образцов в ходе испытаний.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Испытания воздействия газовой коррозии на образцы проводили на стендовой установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

Основу установки составляет камера сгорания топлива 1, внутри которой находится жаровая труба 2. Жидкое топливо (авиационный керосин) подается в камеру сгорания через форсунку 3, куда также подается поток первичного воздуха, регулируемый клапаном 4. Поток

вторичного воздуха, регулируемый клапаном 5, необходимый для охлаждения жаровой трубы, подается в кольцевой зазор между жаровой трубой и корпусом камеры сгорания, откуда через отверстия направляется внутрь камеры сгорания для смешения с продуктами сгорания. Температура жаровой трубы контролируется с помощью термопары 6. Высокоскоростной поток дымовых газов после выхода из сопла камеры сгорания 7 смешивается с дозируемым из форсунки 8 раствором солей ( $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и направляется в зону нагрева образцов 9, закрепленных в оснастке во вращающемся шпинделе 10 с помощью обвязки 11 из нихромовой проволоки (рис. 2). По мере коррозионного износа обвязки или ее разрыва (рис. 3) производится ее полная замена.

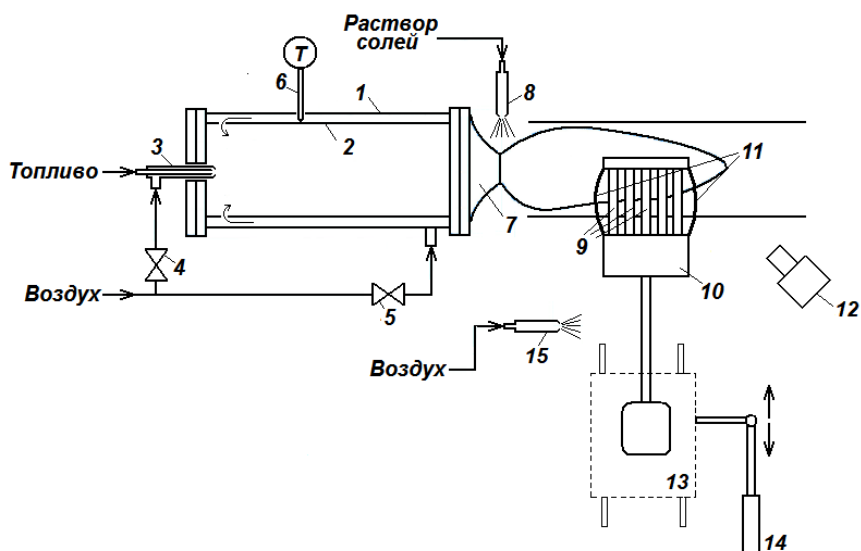


Рис. 1. Схема установки для нанесения коррозионных повреждений на образцы



Рис. 2. Обвязка испытуемых образцов с помощью нихромовой проволоки (сплав X20H80)



Рис. 3. Разрыв элемента обвязки образцов

Температура образцов контролируется с помощью пирометра 12. Привод вращения шпинделя расположен на подвижной платформе 13, которая перемещается между зонами нагрева образцов и зоной их охлаждения с помощью пневмоцилиндра 14. Циклы нагрев/охлаждение образцов осуществляются посредством выдержки образцов в зоне нагрева в течение 45 мин с последующим автоматическим перемещением образцов в зону охлаждения, где происходит их охлаждение воздухом в течение 15 мин. Для этого включается воздушная форсунка 15, обеспечивающая охлаждение образцов с заданной скоростью. После охлаждения образцы перемещаются обратно в зону нагрева.

С целью определения особенностей высокотемпературной газовой коррозии материала обвязки были проведены его металлографические исследования. Для проведения элементного микроанализа шлифов использовался сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения S-3400N с приставкой для рентгеновского энергодисперсионного микроанализа.

На рис. 4 представлена микрофотография сечения нихромовой проволоки, подвергшейся газовой коррозии в указанных выше режимах работы установки в течение 20 ч циклической работы (20 циклов нагрев/охлаждение). Как видно на микрофотографии, толщина окалины на поверхности металла составляет 50–80 мкм, причем толщина непосредственно пораженного металла относительно невелика. Микроанализ слоя окалины (табл. 1) показал, что ее состав значительно изменяется по толщине. Содержания серы в образце обнаружено не было.

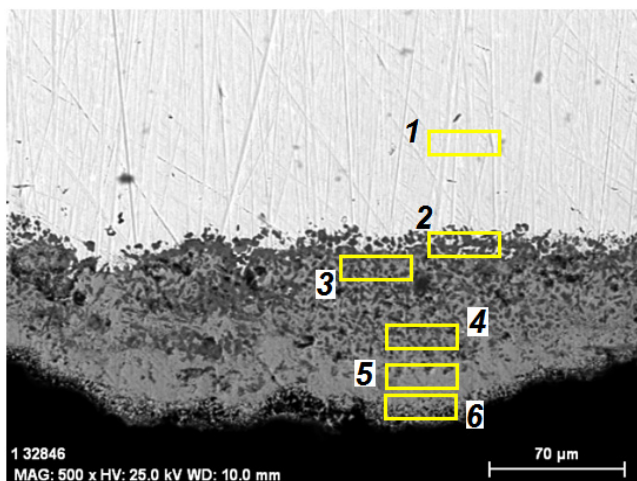


Рис. 4. Микрофотография и области микроанализа состава окалины нихромовой проволоки, подвергшейся газовой коррозии

Таблица 1

Содержание хрома, никеля и кислорода (мас. %) по толщине слоя окалины на поверхности нихромовой проволоки

Номер области анализа	Cr	Ni	O	Ni/Cr
1	17,65	79,73	1,36	4,52
2	36,92	39,01	22,51	1,06
3	33,31	41,94	24,24	1,26
4	24,04	51,48	22,61	2,14
5	4,48	75,14	18,34	16,77
6	1,87	83,21	14,52	44,50

По изменению состава окалины по толщине слоя видно, что по мере удаления от поверхности металла (области 2–6) количество хрома и кислорода, содержащееся в окалине, уменьшается, а количество никеля увеличивается, причем в приповерхностных слоях окалины (область 6) хром практически отсутствует. При этом необходимо отметить, что соотношение Ni/Cr в составе окалины в приповерхностных слоях значительно отличается от соотношения этих элементов в металле и составляет 44,5, что на порядок выше, чем в исходном сплаве.

Аналогичные результаты по содержанию хрома и никеля в окалине были получены при исследовании изотермического и циклического окисления аналогичного сплава кислородом [8–10], но без содержания соединений серы. В этих работах было также определено, что на поверхности металла в основном образуется оксид хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), который в приповерхностных слоях окалины обогащен соединениями никеля. При этом в работе [8] уточняется, что приповерхностный слой, обогащенный никелем, в основном состоит из NiO и шпинели  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  и при циклическом окислении окалина содержит большее количество NiO и шпинели  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ . В работе [10] особое внимание обращается на то, что слой оксида хрома имеет чешуйчатое строение, а механические свойства оксидного слоя зависят от парциального давления кислорода [11]. Более высокие парциальные давления кислорода вызывают повышенные напряжения в оксиде из-за усиленной диффузии кислорода, а при низком парциальном давлении кислорода оксид хрома образуется главным образом за счет диффузии хрома от металла сквозь слой окалины. Вероятно, процесс образования на поверхности нихрома окалины с повышенным содержанием хрома также связан с процессом его преимущественного испарения с поверхности при высокой температуре, так как парциальное давление хрома в интервале температур 900–1000 °С в 20–30 раз больше, чем у никеля [12]. При этом в статье [13] уточняется, что парциальное давление

хрома в ходе обжига постепенно снижается, а парциальное давление никеля остается прежним, что соответственно ведет к снижению интенсивности образования оксида хрома, и преимущественному образованию NiO за счет окисления паров никеля кислородом в приповерхностных слоях окалина. Гипотеза по преимущественному первоначальному испарению хрома с поверхности нихрома с последующим снижением его поверхностной концентрации подтверждается результатами микроанализа образцов оснастки. Например, отношение концентраций никеля и хрома в металле вблизи поверхности раздела металл – окалина (1,5–2 мкм) составляет 5,7, что практически в 1,5 раза превышает отношение концентраций никеля и хрома в сплаве, а отношение концентраций никеля и хрома на поверхности металла после удаления окалина уже составляет 12,4, что более чем в 3 раза превышает отношение концентраций никеля и хрома в сплаве. Другая гипотеза образования летучих продуктов коррозии с переносом никеля в поверхностные слои окалина связана с ускоряющим влиянием NaCl на коррозию [14]. Согласно этой гипотезе хлорид натрия взаимодействует с оксидом никеля в глубоких слоях окалина с образованием летучего NiCl<sub>2</sub>, который проникает в поверхностные слои окалина и также окисляется кислородом или водяными парами до NiO.

Таким образом, по данным изменения состава поверхности нихрома, проработавшего 20 ч в циклах нагрев/охлаждение в среде, способствующей активному развитию сульфидно-оксидной коррозии, можно заключить, что характер поражения его поверхности более похож на преимущественное протекание окислительной коррозии. В свою очередь наиболее вероятной причиной изменения состава окалина по ее толщине является испарение компонентов сплава с поверхности в ходе нагрева.

Представляет интерес также изучение состава шлифа в месте разрыва нихромовой проволоки, образовавшегося в ходе высокотемпературной газовой коррозии потоком дымовых газов с солевыми компонентами (NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), микрофотография которого представлена на рис. 5.

На микрофотографии видно, что рядом с местом разрыва наблюдаются множественные микротрещины разной глубины и ширины, которые могли быть причиной разрыва и могли образоваться как до обжига, так и в ходе обжига в процессах сульфидно-оксидной коррозии [15]. Для определения возможной причины их образования был проведен анализ окалина, находящейся внутри одной из микротрещин, имеющей глубину около 120 мкм и ширину 10–25 мкм. Результаты микроанализа окалина внутри трещины по точкам (рис. 6) представлены в табл. 2.

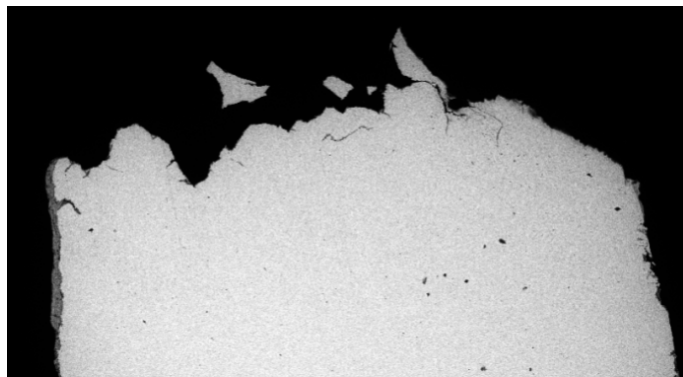


Рис. 5. Микрофотография шлифа образца в месте разрыва

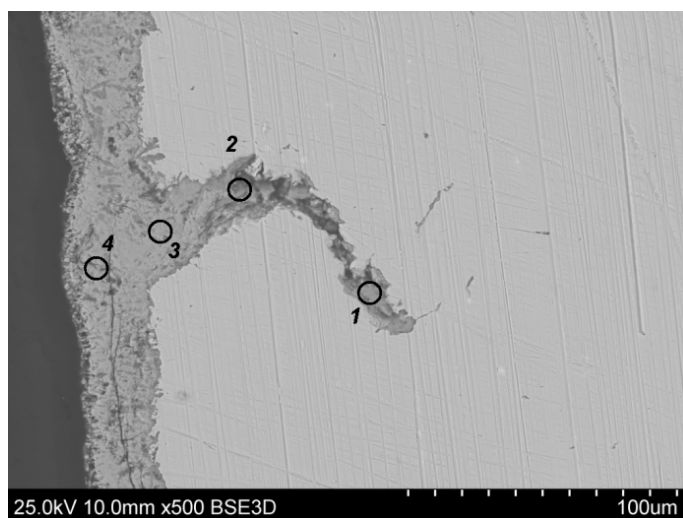


Рис. 6. Точки микроанализа состава окалины внутри трещины

Таблица 2

Содержание хрома, никеля и кислорода в точках, мас. %

Номер точки	Cr	Ni	O	Ni/Cr
1	46,28	22,20	29,56	0,48
2	30,12	44,92	21,27	1,49
3	10,87	68,07	20,18	6,26
4	11,25	68,21	18,95	6,06

В соответствии с результатами анализов, слой продуктов коррозии в микротрещине также в основном содержит хром, причем его содержание (точка 1) вдвое превышает количество никеля, что не наблюдалось для состава окалины на поверхности материала. Вероятно, данное распределение компонентов может быть связано с особенностями



распределения температуры в материале рядом с трещиной или свойствами окалины. Изменение состава окалины внутри трещины имеет те же тенденции, что и на поверхности проволоки. По мере приближения к поверхности количество никеля также увеличивается, а количество хрома и кислорода уменьшается. Следует отметить, что в составе продуктов коррозии микротрещины сера обнаружена не была.

Таким образом, изменение состава окалины внутри микротрещины в результате высокотемпературной газовой коррозии потоком дымовых газов с содержанием соединений серы аналогично изменению состава окалины на поверхности проволоки, которое свойственно окислительной коррозии данного материала. Тем не менее влияние соединений серы на высокотемпературную газовую коррозию данного материала требует проведения дополнительных исследований.

**Выводы.** Результаты исследования высокотемпературной газовой коррозии образца нихромовой проволоки (сплав X20H80) при температуре 950 °С в потоке продуктов сгорания авиационного керосина и примесей раствора солей (NaCl+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) показали:

1. Состав слоя окалины на поверхности нихрома по толщине не является однородным по составу, слои окалины, близкие к металлу, обогащены хромом, а поверхностные слои окалины – никелем, при этом соотношение Ni/Cr на внешней поверхности продуктов коррозии на порядок выше, чем в слое, прилегающем к металлу.

2. Выдвинуто предположение, что наиболее вероятной причиной такого распределения компонентов сплава является превалирование скорости испарения никеля над скоростью испарения хрома, а также характер диффузии компонентов сплава через пористый слой продуктов коррозии при термическом и коррозионном воздействии.

3. Отсутствие следов серы в продуктах коррозии и в микротрещине указывает на то, что преобладает оксидная коррозия, несмотря на наличие сульфата натрия, обычно способствующего развитию сульфидной коррозии.

### **Список литературы**

1. Справочник по машиностроительным материалам: в 4 т. / под ред. Г.И. Погодина-Алексеева. Т. 1: Сталь. – М.: Машгиз, 1959. – 907 с.
2. Неверов А.С., Радченко Д.А., Цырлин М.И. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие. – Минск: Высшая школа, 2007. – 222 с.
3. Клинов И.А. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. – М.: Машиностроение, 1967. – 468 с.

4. Попова А.А. Методы защиты от коррозии. Курс лекций: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Лань, 2014. – 272 с.
5. Христич В.А. Камеры сгорания газотурбинных установок и их расчет: учеб. пособие. – Киев: Изд-во КПИ, 1982. – 107 с.
6. Верхоланцев А.А., Злобин В.Г. Газотурбинные установки. Ч. 2: Конструкция ГТУ и их элементов: учеб. пособие / Высш. шк. технологии и энергетики СПбГУ ПТД. – СПб., 2021. – 53 с.
7. Fox D.S., Miller R.A., Zhu D., Perez M., Cuy M.D., Robinson R., Craig Mach 0.3 Burner Rig Facility at the NASA Glenn Materials Research Laboratory. – NASA John H. Glenn Research Center at Lewis Field, 2011. – 34 p.
8. Pimin Zhang. Performance of MCrAlX coatings: Oxidation, Hot corrosion and Interdiffusion. – Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden, 2019. – 81 p.
9. Carl E. Lowell. Cyclic and isothermal oxidation behavior at 1100° and 1200° C of nickel - 20-percent-chromium, nickel - 20-percent-chromium - 3-percent-manganese, nickel - 20-percent-chromium - 3-percent-silicon, and nickel - 40-percent-chromium alloys. – NASA John H. Glenn Research Center, 1973. – 25 p.
10. Smith K.L., Schmidt L.D. Oxidation and reduction of Ni–Cr alloys // *Journal of Vacuum Science and Technology*. – 1982. – Vol. 20, no. 3. – P. 364–367.
11. Oxidation of Ni-Cr alloy at intermediate oxygen pressures. I. Diffusion mechanisms through the oxide layer / Eric Schmuckera, Carine Petitjeana, Laure Martinellib, Pierre-Jean Panteixa, Sabah Ben Laghac, Michel Vilasi // *Corrosion Science*. – 2016. – Vol. 111. – P. 474–485.
12. Vapor Pressure Calculator. – URL: [https://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface/vapor\\_pressure](https://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface/vapor_pressure) (accessed 26 October 2022).
13. Vaporization of Ni, Al and Cr in Ni-Base Alloys and Its Influence on Surface Defect Formation During Manufacturing of Single-Crystal Components / Z.H. Dong, D. Sergeev, D. Kobertz, N. D'souza, S. Feng, M. Muller, H.B. Dong. // *Metall Mater Trans A*. – 2020. – Vol. 51. – P. 309–322.
14. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
15. Черкашнева Н.Н.; Пузанов А.И., Мерзляков К.С. Проблемы изучения высокотемпературной сульфидной коррозии при назначении ресурса деталей горячей части турбины // *Климат-2018: Вопросы прогнозирования коррозии, старения и биоповреждения материалов: материалы III Всерос. науч.-техн. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т авиац. материалов*. – М., 2018. – С. 239–248.

## References

1. Spravochnik po mashinostroitel'ny'm materialam [Handbook of Engineering Materials]. Ed. G. I. Pogodina-Alekseeva in 4th vol. Moscow, Mashgiz, 1959-1960. Vol.1, Stal' [Steel]. Ed. Ju. A. Geller. 1959, 907p.
2. A.S.Neverov, D.A.Radchenko, M.I.Cyrlin Korrozija i zashhita materialov [Corrosion and protection of materials]. Minsk, Vyssh.shk., 2007, 222p.

3. I.A.Klinov Korrozija himicheskoj apparatury i korrozionnostojkie materialy [Corrosion of chemical equipments and corrosion-resistant materials]. Moscow, Mashinostroenie, 1967, 468p.
4. A. A. Popova Metody zashhity ot korrozii [Methods of corrosion protection]. 2<sup>nd</sup> ed. S.Peterburg, Lan', 2014, 272p.
5. V.A.Hristich Kamery sgoranija gazoturbinyh ustanovok i ih raschet [Combustion chamber of gas turbine engines and their calculation]. Kiev, KPI, 1982, 107p.
6. A. A. Verholancev, V. G. Zlobin. Gazoturbinye ustanovki [Gas turbine engines]. Konstrukcija GTU i ih jelementov [Design of GTU and their elements]. S.Peterburg, SPbGUPTD, 2021, 53p.
7. Fox, Dennis, S.; Miller, Robert, A.; Zhu, Dongming; Perez, Michael; Cuy, Michael, D.; Robinson, R., Craig. Mach 0.3 Burner Rig Facility at the NASA Glenn Materials Research Laboratory, NASA John H.Glenn Research Center at Lewis Field, 2011, 34p.
8. Pimin Zhang Performance of MCrAlX coatings: Oxidation, Hot corrosion and Interdiffusion, Linköping University, Linköping, 2019, 81p.
9. Carl E. Lowell. Cyclic and isothermal oxidation behavior at 1100° and 1200°C of nickel - 20-percent-chromium, nickel - 20-percent-chromium - 3-percent-manganese, nickel - 20-percent-chromium - 3-percent-silicon, and nickel - 40-percent-chromium alloys, NASA John H. Glenn Research Center, 1973, 25p.
10. K. L. Smith, L. D. Schmidt Oxidation and reduction of Ni-Cr alloys. *Journal of Vacuum Science and Technology*, Vol.20, No.3, 1982, pp.364-367
11. Eric Schmuckera, Carine Petitjeana, Laure Martinellib, Pierre-Jean Panteixa, Sabah Ben Laghac, Michel Vilasi Oxidation of Ni-Cr alloy at intermediate oxygen pressures. I. Diffusion mechanisms through the oxide layer. *J. Corrosion Science*, Vol.111, 2016, pp.474-485
12. Vapor Pressure Calculator, available at [https://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface/vapor\\_pressure](https://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface/vapor_pressure) (accessed 26 Oct. 2022).
13. Z.H. Dong, D. Sergeev, D. Kobertz, N. D'souza, S. Feng, M. Muller, H.B. Dong. Vaporization of Ni, Al and Cr in Ni-Base Alloys and Its Influence on Surface Defect Formation During Manufacturing of Single-Crystal Components. *J. Metall Mater Trans A*, Vol.51, 2020, pp.309-322.
14. Nikitin V.I. Korrozija i zashhita lopatok gazovyh turbin [Corrosion and protection of turbine engines blades]. Leningrad, Mashinostroenie, 1987, 272p.
15. Cherkashneva N.N.; Puzanov A.I., Merzljakov K.S. Problemy izuchenija vysokotemperaturnoj sul'fidnoj korrozii pri naznachении resursa detalej gorjachej chasti turbiny [Problems of studying of high-temperature sulfide corrosion for assigning the part's resource of the hot section of turbine]. *Klimat-2018: Voprosy prognozirovaniya korrozii, starenija i biopovrezhdenija materialov. Materialy III Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. 19-20 Jul. 2018, Gelendzhik. Moscow, VIAM, 2018, pp.239-248.

## **Об авторах**

**Саулин Дмитрий Владимирович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [sdv\\_perm@mail.ru](mailto:sdv_perm@mail.ru)).

**Усцова Виктория Алексеевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: [vika@59i.ru](mailto:vika@59i.ru)).

**Пойлов Владимир Зотович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [vladimirpoilov@mail.ru](mailto:vladimirpoilov@mail.ru)).

**Сковородников Павел Валерьевич** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [pavel.skovorodnikov@yandex.ru](mailto:pavel.skovorodnikov@yandex.ru)).

**Казанцев Александр Леонидович** (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [itilamid@rambler.ru](mailto:itilamid@rambler.ru)).

**Смирнов Сергей Александрович** (Пермь, Россия) – инженер кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [po4tamoia@mail.ru](mailto:po4tamoia@mail.ru)).

## **About the authors**

**Dmitry V. Saulin** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technologies of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, e-mail: [sdv\\_perm@mail.ru](mailto:sdv_perm@mail.ru)).

**Victoria A. Ustsova** (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department of Chemical Technologies of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: [vika@59i.ru](mailto:vika@59i.ru)).

**Vladimir Z. Poilov** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technologies of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: [vladimirpoilov@mail.ru](mailto:vladimirpoilov@mail.ru)).

**Pavel V. Skovorodnikov** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Chemical Technologies of Perm National Research

Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: pavel.skovorodnikov@yandex.ru).

**Alexander L. Kazantsev** (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer at the Department of Chemical Technologies of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: itilamid@rambler.ru).

**Sergey A. Smirnov** (Perm, Russian Federation) – Engineer of the Department of Chemical Technologies of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: po4tamoia@mail.ru).

Поступила: 02.11.2022

Одобрена: 16.11.2022

Принята к публикации: 15.12.2022

**Финансирование.** Исследования выполнены с использованием научного оборудования «Центра наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» ПНИПУ.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Высокотемпературная газовая коррозия оснастки стендовой установки / Д.В. Саулин, В.А. Устова, В.З. Пойлов, П.В. Сквородников, А.Л. Казанцев, С.А. Смирнов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 4. – С. 63–75.

Please cite this article in English as:

Saulin D.V., Ustsova V.A., Poilov V.Z., Skovorodnikov P.V., Kazantsev A.L., Smirnov S.A. High-temperature gas corrosion of inventory of the burner rig test facility. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2022, no. 4, pp. 63-75 (*In Russ*).