

УДК 621.791.927.5

doi: 10.18698/0536-1044-2020-12-26-33

Исследование жаростойкости металла покрытия, полученного наплавкой порошковой проволокой 10Г7М3С2АФТЮ*

Е.Н. Еремин, А.С. Лосев, С.А. Бородихин, И.А. Пономарев,
А.Е. Маталасова, О.В. Кропотин

ОмГТУ

A Study of Heat Resistance of the Metal Coating Obtained by 10G7M3S2AFTYu Flux-Cored Wire Surfacing

E.N. Eremin, A.S. Losev, S.A. Borodikhin, I.A. Ponomarev,
A.E. Matalasova, O.V. Kropotin

Omsk State Technical University

■ Процессы нефтехимических производств в основном проходят при высокой температуре, что предопределяет использование материалов повышенной жаростойкости для деталей и узлов технологического оборудования соответствующей отрасли. При воздействии высокой температуры на поверхности металла образуется окалина, вследствие чего его механические и эксплуатационные свойства снижаются. Поэтому проблема повышения ресурса деталей, функционирующих в условиях не только износа, но и высоких температур, имеет большое практическое значение. Исследована жаростойкость покрытия из наплавленной стали 10Г7М3С2АФТЮ при воздействии температуры 900 °С. Установлено, что основной прирост массы окалины для стали 10Г7М3С2АФТЮ происходит в первые часы, а в дальнейшем эта зависимость практически прямолинейна. Средний прирост массы окалины металла такого покрытия при температуре 900 °С составляет 0,0035 кг/(м²·ч). Установлено, что имеет место избирательное интеркристаллитное высокотемпературное взаимодействие, продуктами которого наряду с простыми оксидами железа и марганца являются карбиды, оксиды и нитриды активных легирующих элементов. Выявлено, что основой поверхностного слоя окалины металла 10Г7М3С2АФТЮ являются соединения Fe₂O₃, Fe₃O₄, VO и MoO₂, имеющие средние защитные свойства, а также Fe_{1,26}Mn_{0,74}O₃, Mn₂O₃, SiC, VN_{0,81} и AlC₃N₃, обладающие относительно высокими защитными свойствами. Показано, что порошковая проволока 10Г7М3С2АФТЮ может быть использована для наплавки деталей и узлов теплопроводной системы.

Ключевые слова: наплавка деталей, марганцево-молибденовая порошковая проволока, жаростойкость покрытия, поверхностный слой окалины

■ The processes in petrochemical industries often take place at high temperatures, which determines the use of materials with high heat resistance for parts and components of technological equipment in this industry. When exposed to high temperatures, scale is formed on the metal surface, which leads to deterioration of its mechanical and operational properties.

* Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01224).

Therefore, the problem of improving the performance of parts operating under the conditions when they do not only wear out but also have to endure high temperatures is of great practical importance. Heat resistance of 10G7M3S2AFTYu-coated steel was studied under the temperature of 900°C. It was established that the main increase in the mass of scale for this steel occurred in the first hours, and later this dependence was almost straight-line. The average weight gain of the metal scale of such a coating at 900°C was 0.0035 kg/(m²·h). The presence of selective intercrystalline high-temperature interaction was determined, the products of which were carbides, oxides and nitrides of active alloying elements along with simple iron and manganese oxides. It was shown that the basis of the surface layer of the 10G7M3S2AFTYu metal scale was formed from compounds Fe₂O₃, Fe₃O₄, VO, MoO₂ that have average protective properties, as well as Fe_{1.26}Mn_{0.74}O₃, Mn₂O₃, SiC, VN_{i0.81}, AlC₃N₃ that have relatively high protective properties. It was concluded that flux-cored wire 10G7M3S2AFTYU could be used for surfacing parts and units of heat transfer systems.

Keywords: surfacing, manganese-molybdenum steel, cored wire, heat resistance, scale

Высокотемпературные процессы нефтехимических производств определяют использование деталей и узлов, изготовленных из материалов повышенной жаростойкости [1–3]. Это обусловлено тем, что при воздействии высокой температуры на поверхности металла образуется окалина [4–6], вследствие чего химический состав его поверхностного слоя изменяется, а механические и эксплуатационные свойства снижаются [7–9]. Поэтому проблема повышения ресурса деталей, функционирующих в условиях не только износа, но и высоких температур имеет большое практическое значение.

Для решения этой проблемы используют наплавку рабочих поверхностей износостойкими сталями [10, 11]. С этой точки зрения широкое применение находят процессы нанесения на рабочие поверхности износостойких покрытий из экономнолегированных сталей, наплавленных порошковой проволокой [12, 13].

Проведенными ранее исследованиями металла, наплавленного порошковой проволокой 10Г7МЗС2АФТЮ, установлено, что такой металл имеет достаточно высокие значения твердости после старения и может быть использован для нанесения упрочняющих покрытий [14]. Однако жаростойкость такого металла при высоких температурах не изучена.

Цель работы — исследование особенностей окалинообразования, изменения структуры и фазового состава стали 10Г7МЗС2АФТЮ при воздействии высоких температур в воздушной атмосфере.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлась литая сталь покрытия, наплавленного марганцево-молибденовой по-

рошковой проволокой 10Г7МЗС2ФТЮ, легированной азотом. Для обеспечения в стали необходимого содержания азота в состав порошковой проволоки ввели азотированный марганец Mn(N) марки Мн92Н6 по ГОСТ 6008–90. Экспериментальная порошковая проволока имела следующий расчетный химический состав, %: Mn — 4,0; Mn(N) — 3,5; Mo — 3,5; FeSi — 3,6; FeV — 3,0; FeTi — 5,2; FeAl — 1,8; Na₂SiF₆ — 0,3; Fe — 20,4; Fe-лента — остальное.

Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм опытной порошковой проволокой диаметром 2,4 мм в аргоне в пять слоев. Режим наплавки: сила тока — 230 А; напряжение — 24 В; скорость наплавки — 20 м/ч. Для испытания на жаростойкость из наплавленного металла вырезали образцы размером 15×15×20 мм (рис. 1).

Испытания экспериментального состава металла покрытия на жаростойкость проводили в условиях спокойной воздушной атмосферы по ГОСТ 6130–71. В качестве характеристики жаростойкости выбрали прирост массы образцов при температуре $T = 900$ °С за время $t = 25$ ч.

Металлографические исследования окисленных образцов выполняли на растровом электронном микроскопе JEOL JCM-5700 с энергодисперсионным спектрометром JED-2300.

Рентгенофазовый анализ продуктов окисления осуществляли на многофункциональном рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000. Для этого полученную окалину экспериментального состава металла покрытий измельчали в агатовой ступке под слоем этилового спирта с целью получения мелкодисперсного порошка. После высыхания порошок прессовали под давлением 50±5 МПа на гид-



а



б

Рис. 1. Общий вид образцов, исследуемых на жаростойкость до (а) и после (б) испытания

равлическом прессе в таблетки диаметром 10 мм и толщиной 5 мм.

Съемки выполняли в фильтрованном медном K_{α} -излучении с режимом работы рентгеновской трубки 40 кВ и 40 мА. Среднее значение фиксируемой детектором длины волны излучения $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$. Для обработки и анализа дифракционных спектров применяли пакет программ Match! версии 3.8.1.151.

Результаты и обсуждение экспериментов. Зависимость изменения прироста массы металла наплавленного порошковой проволокой состава ПП10Г7МЗС2АФТЮ от времени выдержки в окислительной атмосфере приведена на рис. 2. Здесь видно, что основной прирост массы окалины происходит в первые часы, в дальней-

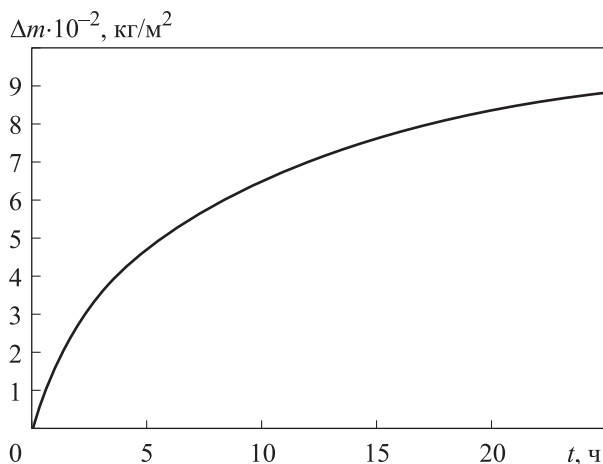


Рис. 2. Зависимость прироста массы Δm металла 10Г7МЗС2АФТЮ от времени выдержки t при температуре $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$

шем эта зависимость практически прямолинейна. За один час испытаний прирост массы окалины составил около $0,0153 \text{ кг/м}^2$, за 5 ч — $0,0467 \text{ кг/м}^2$, а после 25 ч — только $0,0886 \text{ кг/м}^2$.

При этом толщина окалины после одного часа испытаний при температуре $900 \text{ }^\circ\text{C}$ составила $18,74...20,13 \text{ мкм}$, а после 5 ч — $38,24...45,51 \text{ мкм}$. На поверхности образца, прошедшего 25 ч испытаний, образовался однородный слой серой плотной окалины толщиной $109,30...189,54 \text{ мкм}$.

Микроструктура шлифа боковой поверхности металла 10Г7МЗС2АФТЮ с окалиной, полученной после выдержки в окислительной атмосфере $t = 25 \text{ ч}$, с расположением точек скани-

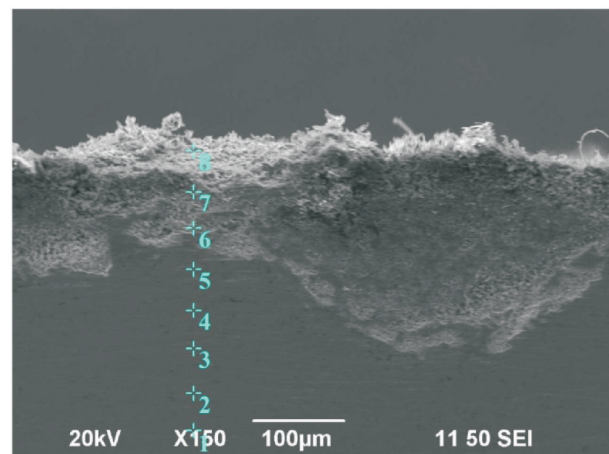


Рис. 3. Микроструктура шлифа боковой поверхности металла 10Г7МЗС2АФТЮ с оксидным слоем после испытания на окалиностойкость при температуре $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдержке $t = 25 \text{ ч}$ с расположением областей сканирования в точках

Таблица 1

**Химический состав сканированных областей металла 10Г7МЗС2АФТЮ
после испытания на окалиностойкость при температуре $T = 900$ °С и выдержке $t = 25$ ч**

Точка сканирования	Содержание химических элементов в металле, %								
	N	O	Al	Si	Ti	V	Mn	Fe	Mo
1	1,75	0,00	0,20	1,32	0,84	1,03	6,13	87,17	1,55
2	0,43	0,00	0,41	1,43	1,90	0,97	7,08	83,02	4,77
3	0,21	0,00	0,37	1,10	0,10	0,71	8,57	85,66	3,29
4	1,58	0,00	0,08	1,17	0,00	0,94	5,82	86,35	4,05
5	0,00	0,43	0,34	0,64	0,45	2,65	3,65	88,62	3,23
6	0,00	30,59	0,18	1,54	7,23	1,79	2,40	50,80	5,47
7	0,00	28,01	0,10	0,36	0,66	0,50	4,95	65,42	0,00
8	0,00	23,54	0,72	2,13	0,63	0,71	12,09	58,75	1,41

рования показана на рис. 3. Химический состав сканированных областей приведен в табл. 1.

Как видно из рис. 3, окалина — слоистая с множеством выходящих наружу полостей различных размеров и формы. В наружном слое окисленного металла количество и дисперсность остатков неокисленного металла значительно меньше, чем в слое, прилегающем к нему.

Точки сканирования 1–5 соответствуют основному металлу, точка 6 — переходной зоне, точки 7 и 8 — окалине.

Из полученных результатов химического анализа следует, что содержание элементов V, Ti, Si и Al в металле по мере приближения к переходному слою (точки 1–4) уменьшается, и наблюдается наличие азота. Непосредственно

Таблица 2

**Химический состав сканированных областей поверхности оксидного слоя металла 10Г7МЗС2АФТЮ
после испытания на окалиностойкость при температуре $T = 900$ °С и выдержке $t = 25$ ч**

Точка сканирования	Содержание химических элементов в металле, %							
	O	Al	Si	Ti	V	Mn	Fe	Mo
1	36,83	0,08	0,18	0,31	0,31	25,98	36,31	0,00
2	25,90	0,52	0,00	0,31	0,14	29,14	43,12	0,87
3	38,36	0,39	0,99	0,00	0,22	32,85	26,50	0,69
4	37,12	0,13	0,20	0,22	0,35	34,72	27,04	0,22
5	38,56	0,32	0,03	0,00	0,02	35,20	25,86	0,00
6	38,03	0,31	0,13	0,22	0,45	24,02	36,45	0,39
7	36,07	0,16	0,33	0,22	0,37	31,71	30,87	0,29
8	38,17	0,32	0,32	0,00	0,21	36,12	24,67	0,19
9	35,95	0,14	0,09	0,21	0,20	37,36	25,68	0,38
10	34,94	0,03	0,08	0,28	0,11	33,46	30,50	0,60
11	34,07	0,15	0,00	0,29	0,06	34,49	30,95	0,00
12	35,93	0,22	0,10	0,02	0,21	35,61	27,53	0,39
13	40,16	0,28	0,12	0,72	0,18	25,11	33,43	0,00
14	39,01	0,23	0,24	1,88	0,12	22,68	35,39	0,45
15	38,13	0,32	0,06	0,36	0,10	30,25	30,79	0,00
16	30,92	0,09	0,00	0,22	0,06	31,93	36,78	0,00
17	36,25	0,00	0,00	0,29	0,32	35,36	27,77	0,00
18	35,53	0,13	0,00	0,31	0,25	30,34	33,43	0,00
19	38,10	0,17	0,44	0,00	0,13	33,83	27,33	0,00

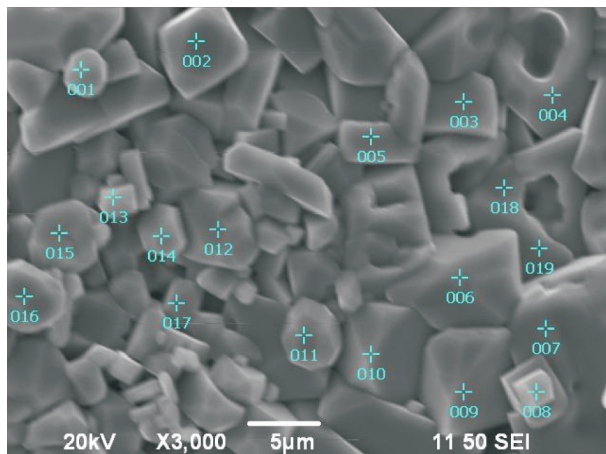


Рис. 4. Поверхность оксидного слоя металла 10Г7МЗС2АФТЮ после испытания на окалиностойкость при температуре $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержке $t = 25\text{ ч}$ с расположением областей сканирования в точках

перед переходной зоной (точка 5) появляется кислород, но отсутствует азот, и резко возрастают концентрации ванадия, титана и алюминия. В переходной зоне (точка 6) имеют место высокие концентрации химических элементов Ti, Mo, Si и V. Вблизи поверхности окалины (точка 8) высоки концентрации Mn, Si, Al и повышены концентрации V, Mo и Ti.

Таблица 3

Фазовый состав окалины металла состава 10Г7МЗС2АФТЮ после выдержки $t = 25\text{ ч}$ при температуре $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$

Точка сканирования	Обозначение фазы (номер карточки)	Интенсивность	Решетка	
			Тип	Параметры $a/b/c, \text{ \AA}$
1	Fe_2O_3 (96-154-6384)	860	Тригональная (гексагональные оси)	5,0300/13,7500
2	$\text{Fe}_{1,26}\text{Mn}_{0,74}\text{O}_3$ (96-900-7523)	860	Кубическая	9,4126/-/-
3	Mn_2O_3 (96-151-4120)	860		9,4080/-/-
4	Fe_3O_4 (96-101-1085)	610		8,4000/-/-
5	SiC (96-900-8857)	40		4,3480/-/-
6	Fe (96-900-6602)	39		2,8716/-/-
7	VO (96-153-9157)	38		4,0678/-/-
8	$\text{VNi}_{0,81}$ (96-230-0547)	38		Тетрагональная
9	MoO_2 (96-153-3436)	38	4,8847/-/2,8136	
10	AlC_3N_3 (96-152-6947)	30	Кубическая	5,2050/-/-
11	$\text{Mo}_{1,93}\text{C}_{0,96}$ (96-153-6526)	25	Орторомбическая	6,0220/4,7250/5,1950
12	$\text{Fe}_4\text{C}_{0,63}$ (96-153-2972)	25		4,0090/4,0090/36,6720
13	TiVN_2 (96-153-8671)	20	Кубическая	4,1920/-/-
14	$\text{Fe}_3\text{N}_{1,33}$ (96-152-5720)	20	Гексагональная	4,7715/-/4,4150
15	SiO_2 (96-101-0955)	20	Кубическая	7,1200/-/-
16	TiN (96-110-0035)	18		4,2440/-/-

Полученные результаты свидетельствуют о формировании в процессе окисления значительной химической микронеоднородности в наплавленном покрытии. По мере приближения к окалине наблюдается обеднение металла основными легирующими элементами, что связано с их активным участием в диффузионных процессах вследствие воздействия высоких температур [15]. В то же время в самой окалине отмечается повышенная концентрация марганца и кремния.

Характерная структура поверхностного участка окалины, полученная растровой электронной микроскопией, с расположением точек сканирования показана на рис. 4. Химический состав сканированных объектов приведен в табл. 2.

Как видно из рис. 4, поверхностный слой окалины представляет собой смесь частиц округлой и прямоугольной форм, имеющих незначительную огранку. Химический состав окислов указывает, что почти все они построены на основе Fe и Mn. Одна часть этих частиц, имеющих прямоугольную форму, размером до 4 мкм не содержит Ti (точки 3 и 8), другая часть с большими размерами — Ti и Mo (точки 5 и 19). Часть частиц округлой формы размером до

6 мкм не включает в свой состав Mo и Si (точки 11, 15, 16, 18). Наблюдаются мелкие частицы размером до 2 мкм, не содержащие Mo, Al и Si (точка 17), а также частицы, в которых отсутствует только Mo (точки 1 и 13).

Результаты рентгеноструктурного анализа окалины металла 10Г7М3С2АФТЮ после выдержки $t = 25$ ч при температуре $T = 900$ °С приведены в табл. 3.

Полученные результаты показывают, что основой поверхностного слоя окалины металла 10Г7М3С2АФТЮ являются соединения Fe_2O_3 , $Fe_{1,26}Mn_{0,74}O_3$, Mn_2O_3 и Fe_3O_4 , а также SiC, VO, MoO_2 , $VNi_{0,81}$, AlC_3N_3 и небольшое количество $Fe_4C_{0,63}$, $Mo_{1,93}C_{0,96}$, $TiVN_2$, TiN, $Fe_3N_{1,33}$ и SiO_2 . Окалину металла 10Г7М3С2АФТЮ составляют в большей части соединения, обладающие средними защитными свойствами. Имеет место избирательное интеркристаллитное высоко-

температурное взаимодействие, продуктами которого наряду с простыми оксидами железа и марганца являются карбиды, оксиды и нитриды активных легирующих элементов.

Таким образом, покрытие из стали 10Г7М3С2АФТЮ обладает достаточно высокой жаростойкостью при температуре до 900 °С.

Выводы

1. Исследованное покрытие из стали 10Г7М3С2АФТЮ подвержено незначительному поверхностному окислению при температуре 900 °С. Жаростойкость покрытия, определяемая средним приростом массы окалины металла, составляет 0,0035 кг/(м²·ч).

2. Порошковая проволока 10Г7М3С2АФТЮ может быть использована для наплавки деталей и узлов теплопроводной системы.

Литература

- [1] Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. *Оборудование для добычи нефти и газа*. Москва, Нефть и газ, 2002. 769 с.
- [2] Сухотин А.М., Арчаков Ю.И., ред. *Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Нефтеперерабатывающая промышленность. Справочное руководство*. Ленинград, Химия, 1990. 400 с.
- [3] Кравцов В.В., Киселева Т.В., Малинин А.В. *Коррозионная стойкость конструкционных материалов в рабочих средах предприятий нефтегазовой отрасли*. Уфа, Монография, 2007. 272 с.
- [4] Бенар Ж., ред. *Окисление металлов*. Москва, Металлургия, 1969, т. 2, 448 с.
- [5] Биркс Н., Майер Дж. *Введение в высокотемпературное окисление металлов*. Москва, Металлургия, 1987. 182 с.
- [6] Тепляков Ю.Н. *Высокотемпературное окисление металлов*. Челябинск, Изд. центр ЮУрГУ, 2017. 215 с.
- [7] Орыщенко А.С. *Жаростойкие, жаропрочные сплавы*. Санкт-Петербург, Наука, 2011. 191 с.
- [8] Кофстад П. *Высокотемпературное окисление металлов*. Москва, Мир, 1969. 392 с.
- [9] Шлямнев А.П., Свистунова Т.В., Сорокина Н.А., Литвак Б.С., Столяров В.И., Козлова Н.Н., Русаненко В.В., Русинович Ю.И., Кляцкина Е.А. *Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: справочник*. Москва, Проммет-сплав, 2008. 336 с.
- [10] Рябцев И.А. *Наплавка деталей машин и механизмов*. Киев, Екотехнологія, 2004. 159 с.
- [11] Соколов Г.Н. *Способы наплавки и плакирования металлов*. Волгоград, ВолгГТУ, 2002. 80 с.
- [12] Походня И.К., Шлепаков В.Н., Максимов С.Ю., Рябцев И.А. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, 2010, № 12, с. 34–42.
- [13] Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н., Зорин И.В., Артемьев А.А. *Порошковые и композиционные проволоки для сварки и наплавки*. Волгоград, ВолгГТУ, 2015. 126 с.
- [14] Eremin E.N., Losev A.S., Borodikhin S.A. The effect of aging on the hardening property of steel G7M3S2AFTYu. *Materials today: proceedings*, 2019, vol. 19, pt. 5, pp. 2239–2242, doi: doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.542
- [15] Анастасиади Г.П. *Формирование химической микронеоднородности в литейных сплавах*. Санкт-Петербург, Политехника, 1992. 148 с.

References

- [1] Ivanovskiy V.N., Darishchev V.I., Sabirov A.A., Kashtanov V.S., Pekin S.S. *Oborudovaniye dlya dobychi nefi i gaza* [Equipment for oil and gas production]. Moscow, Neft' i gaz publ., 2002. 769 p.
- [2] *Korrozionnaya stoykost' oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv. Neftepererabatyvayushchaya promyshlennost'. Spravochnoye rukovodstvo* [The corrosion resistance of equipment for chemical production. Refining industry. Reference guide]. Ed. Sukhotin A.M., Archakov Yu.I. Leningrad, Khimiya publ., 1990. 400 p.
- [3] Kravtsov V.V., Kiseleva T.V., Malinin A.V. *Korrozionnaya stoykost' konstruktsionnykh materialov v rabochikh sredakh predpriyatii neftegazovoy otrasli* [Corrosion resistance of structural materials in working environments of oil and gas industry enterprises]. Ufa, Monografiya publ., 2007. 272 p.
- [4] *Okisleniye metallov* [Oxidation of metals]. Ed. Benar Zh. Moscow, Metallurgiya publ., 1969, vol. 2. 448 p.
- [5] Birks N., Mayyer Dzh. *Vvedeniye v vysokotemperaturnoye okisleniye metallov* [Introduction to high-temperature metal oxidation]. Moscow, Metallurgiya publ., 1987. 182 p.
- [6] Teplyakov Yu.N. *Vysokotemperaturnoye okisleniye metallov* [High temperature oxidation of metals]. Chelyabinsk, YUUrGU publ., 2017. 215 p.
- [7] Oryshchenko A.S. *Zharostoykiye, zharoprochnyye splavy* [Heat-resistant, heat-resistant alloys]. Sankt-Petersburg, Nauka publ., 2011. 191 p.
- [8] Kofstad P. *Vysokotemperaturnoye okisleniye metallov* [High temperature oxidation of metals]. Moscow, Mir publ., 1969. 392 p.
- [9] Shlyamnev A.P., Svistunova T.V., Sorokina N.A., Litvak B.S., Stolyarov V.I., Kozlova N.N., Rusanenko V.V., Rusinovich Yu.I., Klyatskina E.A. *Korroziinnostoykiye, zharostoykiye i vysokoprochnyye stali i splavy: spravochnik* [Corrosion-resistant, heat-resistant and high-strength steels and alloys: guide]. Moscow, Prommet-splav publ., 2008. 336 p.
- [10] Ryabtsev I.A. *Naplavka detaley mashin i mekhanizmov* [Surfacing of machine parts and mechanisms]. Kiev, Ekotekhnologiya publ., 2004. 159 p.
- [11] Sokolov G.N. *Sposoby naplavki i plakirovaniya metallov* [Methods of metal surfacing and cladding]. Volgograd, VolgSTU publ., 2002. 80 p.
- [12] Pokhodnya I.K., Shlepakov V.N., Maksimov S.Yu., Ryabtsev I.A. Research and developments of the E.O. Paton electric welding institute in the field of electric arc welding and surfacing using flux-cored wire (review). *The Paton Welding Journal*, 2010, no. 12, pp. 26–33 (in Russ.).
- [13] Sokolov G.N., Dubtsov Yu.N., Zorin I.V., Artem'yev A.A. *Poroshkovyye i kompozitsionnyye provoloki dlya svarki i naplavki* [Powder and composite wires for welding and surfacing]. Volgograd, VolgGTU publ., 2015. 126 p.
- [14] Eremin E.N., Losev A.S., Borodikhin S.A. The effect of aging on the hardening property of steel G7M3S2AFTYu. *Materials today: proceedings*, 2019, vol. 19, pt. 5, pp. 2239–2242, doi: doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.542
- [15] Anastasiadi G.P. *Formirovaniye khimicheskoy mikroneodnorodnosti v liteynykh splavakh* [The formation of chemical microheterogeneity of in cast alloys]. Sankt-Petersburg, Politekhnik publ., 1992. 148 p.

Статья поступила в редакцию 15.07.2020

Информация об авторах

ЕРЕМИН Евгений Николаевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», директор Машиностроительного института. Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: weld_techn@mail.ru).

ЛОСЕВ Александр Сергеевич — старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: alesha-los@yandex.ru).

БОРОДИХИН Сергей Александрович — старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: froze8@mail.ru).

ПОНОМАРЕВ Иван Андреевич — ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: don_13@mail.ru).

МАТАЛАСОВА Арина Евгеньевна — аспирантка кафедры «Машиностроение и материаловедение». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: matalasova96@mail.ru).

КРОПОТИН Олег Витальевич — доктор технических наук, доцент, проректор по учебной работе. Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: kropotin@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А., Маталасова А.Е., Кропотин О.В. Исследование жаростойкости металла покрытия, полученного наплавкой порошковой проволокой 10Г7М3С2АФТЮ. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 12, с. 26–33, doi: 10.18698/0536-1044-2020-12-26-33

Please cite this article in English as:

Eremin E.N., Losev A.S., Borodikhin S.A., Ponomarev I.A., Matalasova A.E., Kropotin O.V. A Study of Heat Resistance of the Metal Coating Obtained by 10G7M3S2AFTYu Flux-Cored Wire Surfacing. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2020, no. 12, pp. 26–33, doi: 10.18698/0536-1044-2020-12-26-33

Information about the authors

EREMIN Evgeniy Nikolaevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Engineering and Materials Science Department, Director of the Engineering Institute. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: weld_techn@mail.ru).

LOSEV Aleksandr Sergeevich — Senior Lecturer, Engineering and Materials Science Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: alesha-los@yandex.ru).

BORODIKHIN Sergei Aleksandrovich — Senior Lecturer, Engineering and Materials Science Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: froze8@mail.ru).

PONOMAREV Ivan Andreevich — Assistant Lecturer, Engineering and Materials Science Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: don_13@mail.ru).

MATALASOVA Arina Evgeniyevna — Postgraduate, Engineering and Materials Science Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: matalasova96@mail.ru).

KROPOTIN Oleg Vitalievich — Doctor of Science (Eng.), Associate Professor, Vice Rector for Academic Affairs. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: kropotin@mail.ru).