

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



ВЕСТНИК

СИБИРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ИНДУСТРИАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№2

2017

16+

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 2 (20), 2017

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Редакционная коллегия

М.В. Темлянец
(главный редактор)
С.В. Коновалов
(отв. секретарь)
П.П. Баранов
Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феоктистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В. Изучение влияния введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co.....4

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Ремизов А.В., Риб С.В. Совершенствование бесцеликовых способов охраны повторно используемых подготовительных выработок.....9

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

Дворников Л.Т., Береснев Д.А. Задача структурного синтеза цепей М. Грюблера с поступательными кинематическими парами.....12

Савельев А.Н., Локтева Н.А., Королев В.С. Оценка нагруженности элементов прокатных клетей, связанных между собой через прокатываемую полосу.....16

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Матехина О.В. Современное состояние жилого фонда и вопросы его реконструкции.....21
Панова В.Ф., Камбалина И.В., Панов С.А. Повышение долговечности строительных объектов.....25
Попова Е.И., Башенко Н.Н., Сорвачёв А.И., Чуприна О.Д. Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций.....30
Осипов Ю.К. Городской центр дополнительного образования школьников – новый тип здания городской структуры.....36

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России.....43
Павлович Л.Б., Дятлова К.А. Катализаторы очистки газов от углеводородов и оксида углерода (II).....50
Павлович Л.Б., Шалаева Н.А. Каталитическая очистка выбросов воздушников коксохимического производства.....54
Стерлигов В.В., Козлова Н.Е., Абдыкалык Т.Е. Комплексная стоимостная оценка энергоэкологического качества топлива...60

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича.....65
К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского.....67

Рефераты.....68
К сведению авторов.....74

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-52991 от 01.03.2013 г.

Адрес редакции:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 433 М
тел. 8-3843-74-86-28
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса
России» – 41270

Подписано в печать

26.06.2016 г.

Выход в свет

29.06.2016 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 4,5.

Уч.-изд.л. 4,9.

Тираж 300 экз.

Заказ № 393.

Цена свободная.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791.92:669.018.25

А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский

Сибирский государственный индустриальный университет

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co ПРИ
ВВЕДЕНИИ ВОЛЬФРАМА И ХРОМА**

Механизмы машин горного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя. Износ рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении их восстановления. Поэтому разработка материалов, значительно повышающих износостойкость таких деталей, и использование технологии их восстановления, является важной задачей. Наиболее перспективным является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведется разработка и изготовление специальных наплавочных порошковых проволок [1 – 6]. Благодаря оптимально подобранному способу легирования наплавленные покрытия обладают высокими значениями твердости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС [7]. В настоящее время в нашей стране широко используются порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок OK Tubrodur 15.52, OK Tubrodur 58 O/G M.

Настоящая работа продолжает начатые исследования по созданию новых составов порошковых проволок, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [8 – 10], в частности, изучение влияния использования вольфрама и хрома при изготовлении опытных образцов проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co на степень износа и твердость наплавленного слоя.

Проволоку изготавливали на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки составил 5 мм, оболочка выполнена из стальной (марки Ст3) ленты. В качестве наполнителя использовали соответствующие порошковые материалы: порошок железа марки

ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ 1415–93, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755–91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759–91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130–94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721–79. Также использовали порошок со следующим составом компонентов: 21 – 46,23 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 15 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO ; 0,5 – 2,48 % Si_2O ; 2,1 – 3,27 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,9 % MnO ; 0,06 – 0,9 % MgO ; 0,09 – 0,19 % S; 0,1 – 0,18 % P.

Наплавку изготовленной проволокой проводили под флюсом АН-26С на пластины из стали марки Ст3 в шесть слоев (для исключения перемешивания наплавляемого металла с подложкой) при помощи сварочного трактора ASAW-1250 с режимом наплавки $I = 450$ А, $U = 30$ В, $V = 10$ см/мин. Далее пластины разрезались на соответствующие образцы для испытаний. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли по ГОСТ 10543–98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость изучаемых образцов измерялась с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Металлографический анализ с целью определения степени влияния изменения химического состава на параметры микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при диапазоне увеличений в 100 – 1000 крат после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении в 100 раз. Размер игл мартенсита определяли по ГОСТ 8233–56 при увеличении в 1000 раз. Результаты перечисленных выше исследований приведены в табл. 1. Исследование образцов, вырезанных в продольном направлении наплавленного слоя, на наличие неметаллических включений

Химический состав, содержание водорода и твердость наплавленных слоев

Номер образца	Массовая доля элементов %															[H], см ³ /100 г	Твердость образцов HRC
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	V	Co	W	Al	Cu	Ti	S	P		
1 Г9	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,01	0,02	0,05	0,002	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024	2,4	44,5
2 Г10	0,19	0,63	0,65	4,06	0,30	0,38	0,01	0,03	0,06	0,001	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019	1,7	43
3 Г11	0,20	0,59	0,61	4,12	0,30	0,38	0,01	0,02	0,12	0,001	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019	1,9	46
4 Г12	0,20	0,64	0,6	4,03	0,30	0,39	0,01	0,03	0,20	0,002	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021	2,0	30
5 Г13	0,20	0,59	0,56	0,01	0,30	0,33	0,01	0,01	0,05	7,74	0,01	0,1	0,02	0,072	0,017	1,8	22
6 Г14	0,20	0,55	0,49	0,01	0,26	0,34	0,01	0,01	0,07	7,42	0,02	0,09	0,02	0,048	0,014	2,0	25
7 Г15	0,20	0,58	0,52	0,01	0,28	0,34	0,01	0,01	0,07	7,55	0,05	0,09	0,03	0,038	0,014	1,7	21
8 Г16	0,21	0,55	0,52	0,01	0,27	0,35	0,01	0,02	0,06	7,65	0,05	0,08	0,02	0,036	0,017	1,9	25

Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, номер
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные	
1Г9	1б, 2а	1а	7, 6
2Г10	2б, 1б, 2а, 3а	1а, 2а	6, 7
3Г11	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6, 7
4Г12	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	7, 6
5Г13	1б, 2б, 2, 5а	1а	5, 6
6Г14	1б, 2б, 4б	1а	6
7Г15	1б, 2б, 3б	1а	5
8Г16	2б, 4б	1а, 2а	6

осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778–70 при увеличении в 100 крат, результаты приведены в табл. 2.

Металлографический анализ показал, что микроструктура образцов с использованием хрома при их изготовлении (образцы №№ 1Г9 – 4Г12) (рис. 1, *а – г*) представляет собой мартенсит в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ -феррита. По телу и границам зерен распределены точечные дисперсные включения. В структуре образцов №№ 1Г9, 3Г11 и 4Г12 наблюдается крупноигльчатый мартенсит (балл 7) с размером игл 3 – 14, 8 – 12 и 3 – 11 мкм соответственно. В структуре образца № 2Г10 присутствует мелкоигльчатый и среднеигльчатый мартенсит (балл 4, 5). Размер игл мартенсита в этом случае составляет 3 – 6 мкм.

Величина бывшего зерна аустенита в структуре образцов №№ 1Г9 – 4Г12 по шкале зернистости соответствует № 7, 6 и № 6, 7 (табл. 2).

При использовании вольфрама (образцы №№ 5Г13 – 8Г16) наплавленный слой имеет феррито-перлитную структуру. По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения (рис. 1, *д – з*). Величина бывшего зерна аустенита соответствует № 6 и № 5, 6 (табл. 2).

В результате оценки загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (табл. 2).

Установлено, что изменения микроструктуры при варьировании химического состава порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co оказывают влияние на свойства наплавленного металла. Так, твердость наплавленного металла с мартенситной структурой, полученной при введении хрома в шихту порошковой проволоки, составляет 30 – 46 HRC (табл. 1, рис. 2). Высокая твердость наплавленного слоя приводит к образованию трещин на поверхности слоя, что оказывает негативное влияние на работу деталей, работающих в условиях ударного износа, сопровождающегося вибрационным воздействием.

Значения твердости наплавленного слоя с феррито-перлитной структурой, обеспеченной использованием вольфрама, ниже (21 – 25 HRC) (табл. 1, рис. 3). Таким образом, наибольшее упрочнение наплавленного слоя наблюдается при мартенситной структуре, по сравнению с феррито-перлитной, что согласуется с литературными данными [11].

Важно отметить, что твердость наплавленного слоя увеличивается при уменьшении размера бывшего зерна аустенита. В результате использования хрома наплавленный металл имеет меньший размер бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) и более высокие значения твердости, чем при введении в состав шихты порошковой проволоки вольфрама (размер первичного зерна аустенита № 6 и № 5, 6).

Выводы. Введение в систему Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co хрома и вольфрама раздельно друг от друга оказывает влияние на

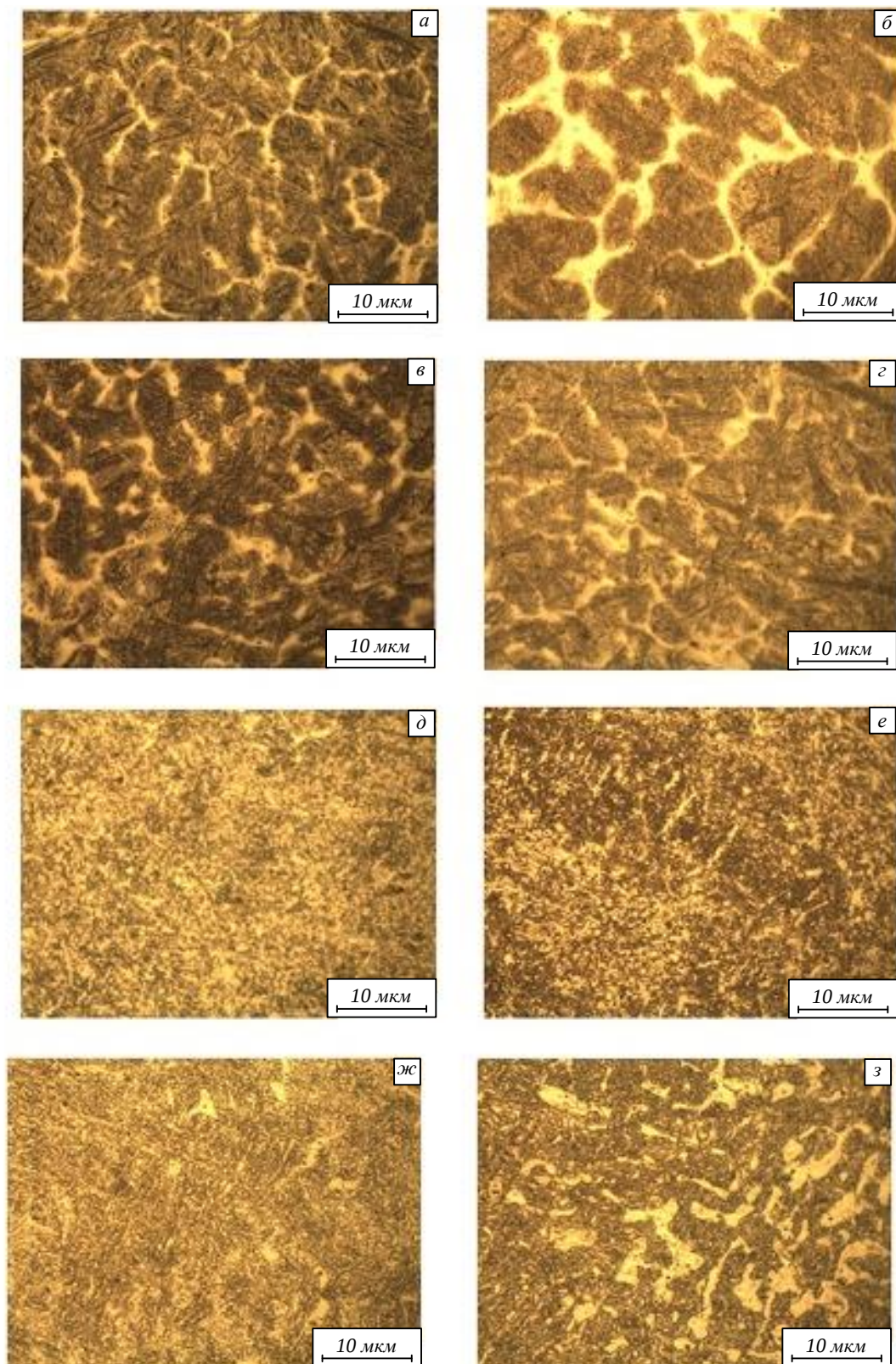


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов:
a – № 1Г9; *б* – № 2Г10; *в* – № 3Г11; *г* – № 4Г12; *д* – № 5Г13; *е* – № 6Г14; *ж* – № 7Г15; *з* – № 8Г16

микроструктуру наплавленного слоя. Использование хрома обеспечивает получение мартенситной структуры наплавленного металла с тонкими прослойками δ -феррита, расположенными по границам первичных зерен аустени-

та. Выведение из состава шихты порошковой проволоки хрома и введение вольфрама способствует формированию феррито-перлитной структуры наплавленного слоя карбидными включениями вольфрама. Использование хро-

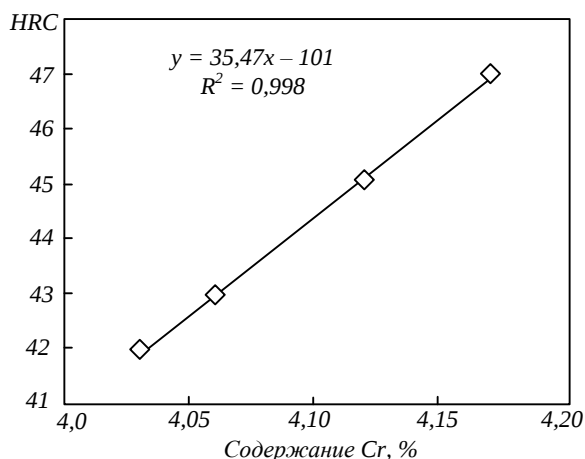


Рис. 2. Твердость образцов №№ 1Г9 – 4Г12

ма обеспечивает уменьшение бывшего зерна аустенита. Размер первичного зерна аустенита при использовании хрома соответствует № 7, 6 и № 6, 7, а при выведении хрома и введении вольфрама – № 6 и № 5, 6. Введение хрома в состав шихты порошковой проволоки обеспечивает получение более высоких значений твердости (30 – 46 HRC) наплавленного слоя, чем без хрома и при использовании вольфрама (21 – 25 HRC). Повышение твердости в результате введения хрома обусловлено формированием мартенситной структуры с меньшей величиной бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) по сравнению со структурой феррита и перлита с величиной первичного зерна аустенита, соответствующей № 6 и № 5, 6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear Journal*. 2008. Vol. 265. P. 772 – 779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase deposits against abrasion // *Weld. International*. 2009. Vol. 23. P. 706 – 716.
3. Klimpel A., Dobrzanski L.A., Janicki D., Lisiecki A. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits // *Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 164 – 165. P. 1056 – 1061.
4. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys // *Weld. International*. 2010. Vol. 89. P. 133 – 139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Weld. International*. 2008. Vol. 22. P. 796 – 800.
6. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of Wear-Resistant Deposits by MAG Welding with

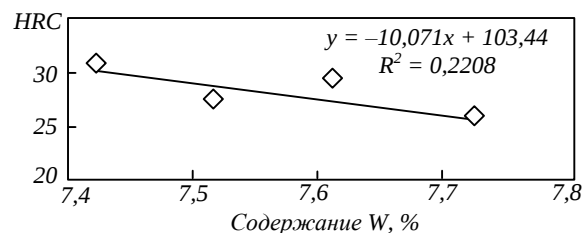


Рис. 3. Твердость образцов №№ 5Г13 – 8Г16

a Flux-Cored Wire Having Graphite in Its Filling // *Welding International*. 2005. Vol. 20. P. 961 – 976.

7. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
8. Гусев А.И., Осетковский И.В. Изучение свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы С – Mn – Si – Cr – V – Mo – Co // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Сб. тр. VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи. В 2-х томах. Т. 1. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2016. С. 91 – 94.*
9. Gusev A.I., Kibko N.V., Kozyrev N.A., Popova M.V., Osetkovsky I.V. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 150. 2016. P. 1 – 9.
10. Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40ХЗГ2МФ // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. 2016. Вып. 36. С. 174 – 181.
11. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013 – 528 с.
12. Шагара О.Н. Характеристика структуры металлической матрицы и износостойкость поверхностей при микроударном воздействии // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Горная книга*. 2006. № 4. С. 230 – 235.

© 2017 г. А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский
Поступила 20 марта 2017 г.