

УДК 669.018.25:519.237

*Н.А. Козырев, А.Р. Михно, А.А. Усольцев, Р.Е. Крюков, С.С. Кашин***Сибирский государственный индустриальный университет****ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ
МАРКИ 25Х5ФМС, СОДЕРЖАЩЕЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНО
УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩУЮ ДОБАВКУ**

Улучшение качества наплавленного с помощью электродуговой наплавки слоя деталей металлургического оборудования, работающих в условиях ударно-абразивного износа, является важнейшим резервом увеличения объема производства продукции и экономии металла за счет продления срока службы оборудования [1 – 8]. Разработка новых материалов, значительно повышающих износостойкость таких деталей, и использование технологии их восстановления – важные и актуальные задачи [8 – 13]. Одним из актуальных вопросов при разработке нового наплавочного материала является выбор системы легирования сплава [14 – 20]. При этом следует учитывать условия работы деталей, стоимость наплавочного материала, результаты испытаний различных материалов в лабораторных и производственных условиях, а также вид и твердость различных фаз, износостойкость и т.д. Благодаря оптимально подобранному способу легирования наплавленные покрытия обладают высокими твердостью, абразивной и ударно-абразивной износостойкостью.

В настоящее время для легирования материалов, используемых в условиях абразивного износа, в основном используются наплавочные материалы (сплавы на железоуглеродистой основе), содержащие хром, марганец, никель. В сочетании с перечисленными элементами в наплавочные материалы также вводят карбидообразующие элементы: вольфрам, ванадий, титан, молибден. Широкое распространение для

наплавки слоев на изделия, подвергающиеся абразивному износу, получили наплавочные проволоки систем Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo типа А и В по классификации МИС.

С целью изучения влияния изменения количества углеродфторсодержащего материала на качество наплавленного металла изготовили серию образцов порошковой проволоки типа ПП-Нп-25Х5ФМС. Составы шихты порошковых проволок с учетом используемых порошков приведены в табл. 1. В составе шихты изменяли количество введенного углеродфторсодержащего материала (пыли газоочистки производства алюминия). При этом в качестве образца сравнения был использован образец, в шихту которого добавлен аморфный углерод (образец 401).

В лабораторных условиях исследования проводили по определенной схеме. Для изготовления порошковой проволоки марки 25Х5ФМС по ГОСТ 26101 – 84 взвешивали в соответствии с рассчитанными данными (табл. 1) все элементы. Взвешивание проводили на электронных весах марки SHIMADZU модели AUX120. Далее осуществляли сушку порошков в печи в течение часа при температуре 200 °С. Затем просушенные порошки перемешивали в смесителе СМ-2744 в течение часа. Изготовление проволоки проводили на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки составил 6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: порошок железа марки ПЖВ1 по

Т а б л и ц а 1

Расчетный химический состав опытной проволоки типа 25Х5ФМС

Образец	Количество порошка*, г					
	углеродсодержащего компонента	ферросиликохрома FeSiCr15	ферромарганца ФМн78А	ферросилиция ФС75	феррованадия ФВ40У 0,6	ферромолибдена ФМо60
401	34,2	59	9	17,3	6	14
402	11,6	59	9	17,3	6	14
405	30,0	59	9	17,3	6	14
406	37,5	59	9	17,3	6	14
407	45,0	59	9	17,3	6	14

*Остальное – порошок железа.

Т а б л и ц а 2

Химический состав наплавленного металла

Образец	Доля элементов, % (по массе)												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Co	Nb
401	0,30	1,37	1,44	0,012	0,023	5,66	0,06	0,04	0,89	0,37	0,026	0,02	0,003
402	0,36	1,36	1,49	0,015	0,023	5,12	0,06	0,04	1,05	0,34	0,010	0,03	0,004
405	0,38	1,57	1,77	0,010	0,022	5,54	0,07	0,05	1,09	0,38	0,030	0,03	0,007
406	0,44	1,75	1,72	0,017	0,022	5,38	0,07	0,05	1,03	0,45	0,030	0,03	0,008
407	0,45	2,00	1,90	0,019	0,022	5,28	0,08	0,08	1,04	0,46	0,025	0,03	0,010

ГОСТ 9849 – 86; порошок кремния ФС75 по ГОСТ 1415 – 93; порошок марганца ФМн78А по ГОСТ 4755 – 91; порошок хрома FeSiCr15 по ГОСТ 11861 – 91; порошок ванадия ФВ40У по ГОСТ 27130 – 94; молибден Фмо60 по ГОСТ 4759 – 91; углеродфторсодержащий материал следующего химического состава: 21 – 46 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 15 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO; 0,5 – 2,5 % SiO_2 ; 2,1 – 3,3 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,90 % MnO; 0,06 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,10 – 0,18 % P, аморфный графит ГЛС-1 (ГОСТ 17022 – 81). Наплавку образцов осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины стали марки 09Г2С.

При наплавке в качестве флюса был использован шлак производства силикомарганца. Химический состав используемого флюса: 0,720 % FeO; 7,940 % MnO; 32,000 % CaO; 42,900 % SiO_2 ; 7,880 % Al_2O_3 ; 5,810 % MgO; 0,360 % Na_2O ; 0,260 % K_2O ; 0,200 % S; 0,010 % P; 0,004 % ZnO; 0,036 % Cr_2O_3 ; 0,420 % F; 0,110 % BaO; 0,060 % SrO; 0,080 % TiO_2 (по массе).

Наплавку проводили в пять слоев при следующем режиме: сила тока 600 А; скорость наплавки 15 м/ч; напряжение 32 В. Для проведения шлифовки образцов была принята многократная методика шлифования (согласно ГОСТ 23505 – 79). Образцы с наплавленным слоем проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС с углеродфторсодержащей добавкой полировали на шлифовальном станке FORCIPOL 2 с применением шлифовальной шкурки с различным размером зерна покрытия (P400, P600, P800, P1500, P2000, P2500); после этого образцы полировали на войлочном покрытии, обрабатыва-

емом в процессе полировки 2 %-ным хромосодержащим раствором.

Химический состав наплавленного металла (табл. 2) определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Полученный химический состав шлаковых корок приведен в табл. 3.

Металлографические исследования микрошлифов осуществляли с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле (диапазон увеличений 100 – 1000) после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82 (увеличение 500). Исследования наплавленного слоя образцов на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778 – 70. Полированную поверхность изучали с помощью металлографического микроскопа ЛабМет-1И (увеличение 100).

Металлографические исследования показали, что микроструктура наплавленного порошковой проволокой марки 25Х5ФМС слоя (рис. 1) имеет феррито-перлитную структуру (65 % перлита, 35 % феррита), а именно, перлитные колонии, по краям которых расположены области структурно-свободного феррита. По всему шлифу расположено большое количество карбидов. Исходя из химического состава проволоки, можно сделать вывод, что это карбиды хрома. Карбидная сетка однородная (исходя из данных ГОСТ 8233 – 56). По ГОСТ 1778 – 70 установлено, что образцы 402, 405, 406, 407 по шкале неметаллических включений (рис. 2) имеют балл загрязнения оксидами точечными 4а, образец 401 по шкале неметаллических включений имеет балл загрязнения оксидами точечными 3а.

Т а б л и ц а 3

Результаты рентгеноспектрального анализа шлаков

Образец	Доля элементов, % (по массе)												
	FeO	MnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	S	P	WO_3	ZnO	F
401	3,79	6,69	27,68	45,32	7,35	7,24	0,43	Отс.	0,17	0,013	0,028	0,007	0,95
402	1,95	6,87	29,11	44,88	8,02	7,58	0,43	Отс.	0,16	0,011	0,031	0,006	0,88
405	2,14	6,62	28,07	46,59	10,08	3,01	0,67	0,39	0,27	0,012	0,012	0,004	1,03
406	2,02	6,53	27,45	45,08	10,29	2,72	0,70	0,37	0,26	0,011	0,071	0,005	1,16
407	2,30	6,54	27,73	45,60	10,06	2,80	0,62	0,33	0,26	0,011	0,030	0,003	0,96

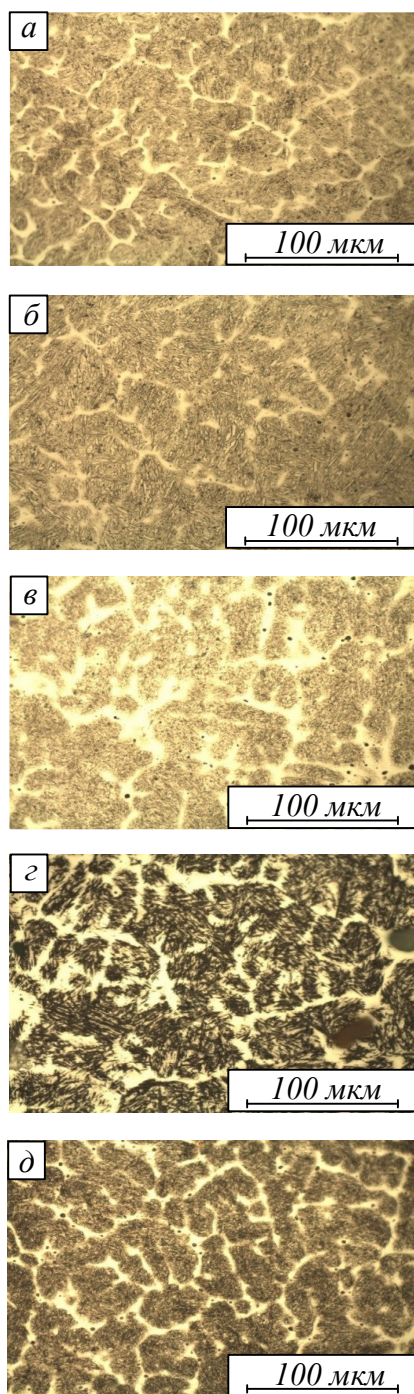


Рис. 1. Микроструктура стали 25X5ФМС образцов 401, 402, 405, 406 и 407 (а – д) соответственно

Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013 – 59 (табл. 4). Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка со следующими параметрами: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А) $75 - 750 \text{ мин}^{-1}$; диапазон измерения момента трения (диапазон I) $1 - 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (табл. 5).

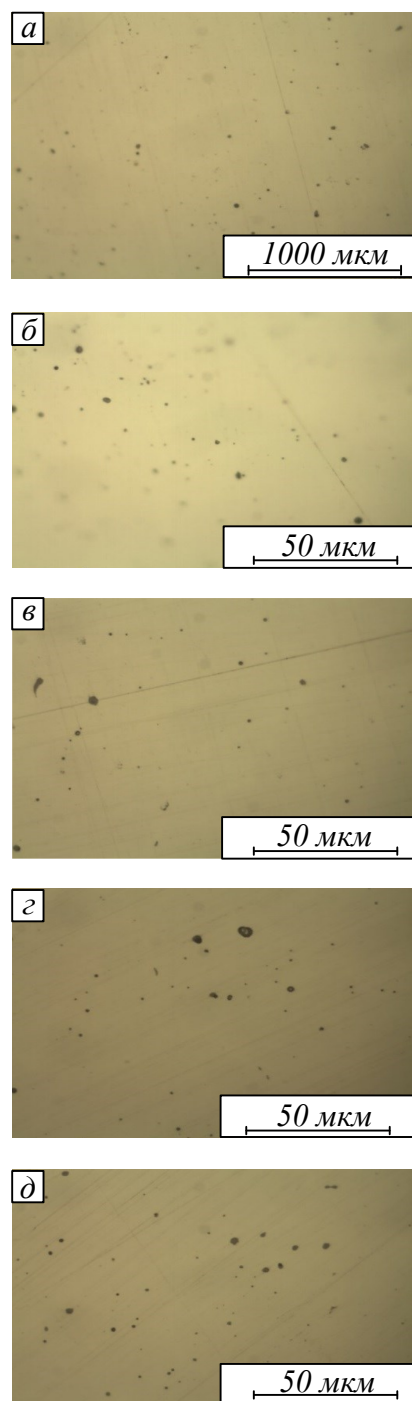


Рис. 2. Неметаллические включения в образцах 401, 402, 405, 406 и 407 стали 25X5ФМС (а – д) соответственно

Построены зависимости твердости HRC (рис. 3) и истирания образцов (рис. 4) от содержания углерода в наплавленных слоях, а также зависимость скорости истирания от твердости образцов (рис. 5).

Выводы. Использование углеродфторсодержащей добавки в составе порошковой проволоки вместо аморфного графита способствует увеличению твердости и износостойкости. Увеличение концентрации углеродфторсодержащей добавки обеспечивает существенное повышение твердости образцов и уменьшение скорости истирания.

Т а б л и ц а 4

Результаты замеров HRC

Образец	Твердость HRC замера										Среднее значение HRC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
401	51,6	59,4	57,3	57,8	54,9	55,6	49,2	56,2	58,8	56,9	55,77
402	70,2	59,2	64,0	60,6	57,5	64,1	58,2	52,8	64,8	61,3	61,27
405	70,1	67,6	73,5	70,7	74,8	69,1	65,6	68,5	65,9	71,6	68,94
406	78,2	70,2	72,0	69,4	72,8	73,5	71,6	72,3	71,5	74,1	73,36
407	77,3	75	75,6	77,1	74,6	76,8	84,3	80,5	79,5	77,9	77,56

Добавление в состав порошковой проволоки ПП-Нп-25Х5ФМС углеродфторсодержащей добавки (пыли отходов производства алюминия) увеличивает твердость и износостойкость образцов, однако не решает проблемы неметаллических включений, так как класс загрязнения поверхности образцов с углеродфторсодержащей добавкой в составе по сравнению с графитом вырос на один пункт (с 3а до 4а по ГОСТ 1778 – 70).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования С – Si – Cr – V – Mo и С – Si – Mn – Cr – W – V на структуру наплавленного слоя прокатных валков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. № 4. С. 74 – 78.
2. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Федотов Е.Е., Непомнящих А.С. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Металлургия – 2017. Труды XX Международной научно-практической конференции, 15 – 16 ноября 2017 г. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2017. С. 336 – 339.
3. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Непомнящих А.С., Усольцев А.А., Попова М.В. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца. – В кн.: Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 9. С. 101 – 106.
4. Бишоков Р.В., Мельников П.В., Гежа В.В. Влияние химического состава металла шва, выполненного механизированной сваркой порошковой проволокой, на его структуру и механические свойства // Вопросы материаловедения. 2005. № 1 (41) С. 30 – 37.
5. Рыбин В.А., Иванов В.А. Исследования влияния конструктивных особенностей химического состава наполнителя, порошковых проволок на режимы электродуговой сварки // Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 7 (32). С. 63 – 66.
6. Брот К.А., Сорвачев И.А., Семичева Л.Г. Преимущества и недостатки механизированной сварки порошковой проволоки // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. Т. 1. № 10. С. 95 – 96.
7. Грищенко Л.В., Шаратов М.Г., Бишоков Р.В. Разработка и внедрение в судостроение порошковой проволоки малого диаметра для сварки низколегированных сталей // Судостроение. 1999. № 4 (725). С. 57 – 58.

Т а б л и ц а 5

Результаты испытаний на истирание

Образец	V, об/мин	F, Н	τ, час	n	Масса образца, г		ΔГ, г	ΔГ/n, г/об
					до истирания	после истирания		
401	20	30	4	3694	100,9136	99,9705	0,9431	$2,5530 \cdot 10^{-4}$
402	20	30	4	4120	63,0023	62,0132	0,9891	$2,4007 \cdot 10^{-4}$
405	20	30	4	4500	105,3891	104,4902	0,8988	$1,9973 \cdot 10^{-4}$
406	20	30	4	3700	97,9529	97,3048	0,6481	$1,7516 \cdot 10^{-4}$
407	20	30	4	3710	84,6780	84,0459	0,6321	$1,7037 \cdot 10^{-4}$

П р и м е ч а н и е. V – скорость; F – нагрузка; τ – время истирания; n – число оборотов; ΔГ – разница массы до и после истирания.

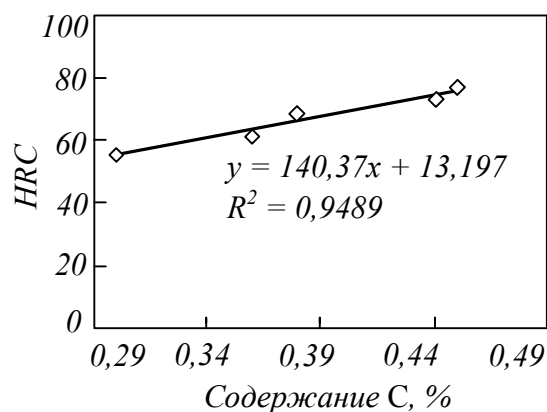


Рис. 3. Зависимость твердости (HRC) от содержания углерода (C) в наплавленном металле

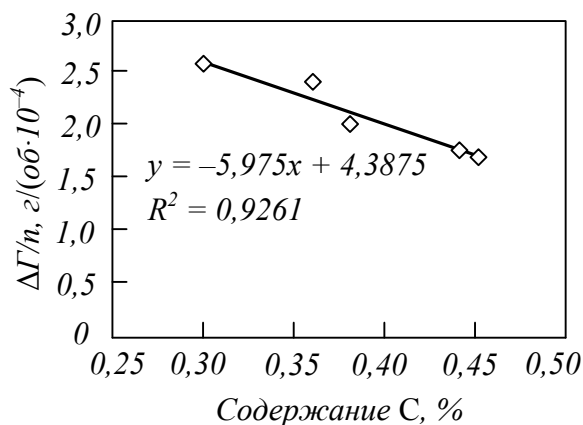


Рис. 4. Зависимость скорости истирания (ΔΓ/n) от содержания углерода (C) в наплавленном металле

8. Дзудза М.В., Лушников В.М. Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств у различных типов порошковой проволоки // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 10. С. 20.
9. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Гусев А.И., Осетковский И.В. Эксплуатационные показатели новых порошковых проволок системы Fe – C – Mn – Cr – Ni – Mo // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 7. С. 860 – 868.
10. Гусев А.И., Крюков Р.Е., Козырев Н.А. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая проволока для наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа. – В кн.: Металлургия XXI столетия глазами молодых. Материалы IV Международной научнопрактической конференции молодых ученых и студентов: сборник докладов, 23 – 24 мая 2018 г. – Донецк, 2018. С. 296 – 299.
11. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р., Усольцев А.А., Попова М.В. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца для повышения износостойкости рештаков скребковых конвейеров // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 217 – 221.
12. Гусев А.И., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р. Разработка порошковой проволоки для наплавки горнорудного оборудования, работающего в условиях ударно-абразивного износа // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 282 – 287.
13. Козырев Н.А., Осетковский И.В., Козырева О.А. Изучение свойств наплавленного метал-

ла систем Mn – Mo – V – В и Cr – Mn – Mo – V порошковыми проволоками. – В кн.: Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2015. С. 95 – 100.

14. Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Башенко Л.П. Разработка новых порошковых проволок для наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2018. Вып. 7 (1423). С. 70 – 77.
15. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Mikhno A.R. Development of a flux-cored wire for surfacing mining equipment operating in the conditions of shock-abrasive wear // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. No. article. 012034. P. 1 – 6.

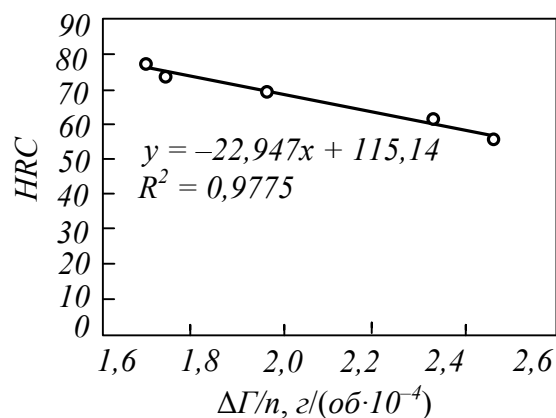


Рис. 5. Зависимость скорости истирания (ΔΓ/n) от твердости образцов (HRC)

16. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Usoltsev A.A. Developing new powder wire for surfacing details which works in the wear resistance conditions. – In: Materials and processing Technology. Materials science forum. 2018. Vol. 927. P. 126 – 133.
 17. Kozyrev N.A., Osetkovskiy I.V., Kozyreva O.A., Zernin E.A., Kartsev D.S. Influence of filler metals in welding wires on the phase and chemical composition of weld metal // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 7.
 18. Осетковский И.В., Корнев Е.С., Корнева А.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Применение многофакторного анализа при оценке степени износа металла, наплавленного порошковыми проволоками системы $C - Si - Mn - Cr - Ni - Mo - V$ с добавками кобальта и вольфрама. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сб. научн. тр. Вып. 37. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 185 – 190.
 19. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А.. Улучшение структуры и свойств стали 35B9X3CF. – В кн.: Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2016. Вып. 19. С. 138 – 148.
- © 2019 г. *Н.А. Козырев, А.Р. Михно, А.А. Усольцев, Р.Е. Крюков, С.С. Кашин*
Поступила 19 ноября 2019 г.