

УДК 669.018.25:519.237

*Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, А.Р. Михно, А.А. Усольцев, П.А. Денисов***Сибирский государственный индустриальный университет****ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВЕДЕНИЯ В СОСТАВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ
МАРКИ 35В9Х3СФ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ**

Изучение влияния и совершенствование различных порошковых проволок являются актуальными задачами в машиностроении [1 – 10]. Важной задачей при изготовлении таких порошковых проволок является обеспечение высоких твердости и износостойкости наплавленного металла, полученного при использовании порошковых проволок, немаловажную роль играет и цена таких материалов [11 – 20].

Одной из распространенных порошковых проволок для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий является наплавочная проволока марки ПП-Нп-35В9Х3СФ. Данная порошковая проволока применяется для наплавки стальных валков для горячей прокатки, труб и ножей резки металла, бойков молотов, тормозных шкивов и др. Порошковая проволока марки ПП-Нп-35В9Х3СФ имеет ряд положительных качеств, необходимых для выполнения наплавки вышеперечисленных изделий, а именно, она обладает высокой стойкостью против износа при повышенных температурах, хорошими термической выносливостью и сопротивляемостью ударам. Однако, несмотря на множество ее положительных качеств, она также имеет ряд недостатков. Из-за большого (> 10 %) количества легирующих элементов данная порошковая проволока обладает плохой свариваемостью со сталями других марок, а также можно отметить ее склонность к образованию неметаллических включений.

С целью улучшения сварочных характеристик порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ предложено использование и введение углеродфторсодержащего материала в качестве одного из дополнительных компонентов.

В настоящей работе приведены результаты исследований износостойкости, твердости наплавленного металла порошковыми проволоками типа ПП-Нп-35В9Х3СФ, в состав которых дополнительно вводили углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки производства алюминия). Химический состав углеродфторсодержащей добавки: 21,00 – 46,00 % Al_2O_3 ; 18,00 – 27,00 % F; 8,00 – 15,00 % Na_2O ; 0,40 – 6,00 % K_2O ; 0,70 – 2,30 % CaO; 0,50 – 2,50 % SiO_2 ; 2,10 – 3,30 % Fe_2O_3 ; 12,50 – 30,20 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,90 % MnO; 0,06 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,10 – 0,18 % P.

Состав шихты порошковой проволоки с учетом используемых порошков приведен в табл. 1. В исследуемых образцах порошковой проволоки изменяли количество углеродфторсодержащего материала (пыли газоочистки производства алюминия), в качестве образца сравнения использовали образец с добавкой аморфного углерода (образец 403).

При изготовлении порошковой проволоки марки 35В9Х3СФ взвешивали ее компоненты в соответствии с рассчитанными данными, далее смешивали и просушивали их в лабораторной печи при температуре 250 – 300 °С в течение 1,5 – 2,0 ч.

Т а б л и ц а 1

Расчетный химический состав опытной проволоки типа 35В9Х3СФ

Образец	Количество порошка*, г					
	углеродсодержащий компонент	ферросиликохром FeSiCr15	ферромарганец ФМн78А	ферросилиций ФС75	феррованадий ФВ40У 0,6	ферромолибден ПВП-1
403	22,5	17,5	5,5	6,6	2,0	52,5
404	7,50	17,5	5,5	6,6	2,0	52,5
408	15,00	17,5	5,5	6,6	2,0	52,5
409	18,75	17,5	5,5	6,6	2,0	52,5
410	22,95	17,5	5,5	6,6	2,0	52,5

*Остальное – порошок железа.

Таблица 2

Химический состав наплавленного металла

Образец	Доля элементов, % (по массе)													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	W	Al	Co	Nb
403	0,21	1,39	1,56	0,011	0,022	4,25	0,37	0,04	0,05	0,36	7,12	0,02	0,02	0,01
404	0,24	1,08	1,17	0,010	0,026	4,50	0,37	0,04	0,05	0,58	7,62	0,02	0,02	0,01
408	0,34	1,43	1,55	0,018	0,026	4,88	0,37	0,05	0,04	0,28	7,74	0,01	0,04	0,01
409	0,38	1,32	1,30	0,015	0,026	4,44	0,36	0,05	0,03	0,25	7,76	0,07	0,03	0,01
410	0,44	1,41	1,70	0,021	0,026	4,48	0,38	0,06	0,04	0,31	7,61	0,01	0,04	0,01

Изготовление проволоки марки 35В9ХЗСФ проводили с использованием лабораторного стана. Диаметр изготовленной проволоки 6 мм, оболочка выполнена из ленты стали Ст3. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: порошки железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849 – 86, кремния КР-1 по ГОСТ 2169 – 69, вольфрама по ГОСТ 1049 – 74, марганца МР-0 по ГОСТ 6008 – 82, хрома ПХА-1М по ТУ 14-1-1474 – 75, ванадия ВЭЛ-1 по ТУ 48-0533 – 71, молибдена М-МП по ГОСТ 4759 – 91, а также углеродфторсодержащий материал, аморфный графит ГЛС-1 (ГОСТ 17022 – 81).

Наплавку образцов проводили на пластины стали марки 09Г2С с использованием сварочного трактора АСАВ-1250 и изготовленной порошковой проволоки марки 35В9ХЗСФ в пять слоев при режиме: сила тока 600 А, напряжение 32 В, скорость наплавки 15 м/ч. Наплавку проводили с использованием сварочного флюса на основе шлака производства силикомарганца.

Химический состав используемого флюса на основе шлака силикомарганца следующий: 0,720 % FeO; 7,940 % MnO; 32,000 % CaO; 42,900 % SiO₂; 7,880 % Al₂O₃; 5,810 % MgO; 0,360 % Na₂O; 0,260 % K₂O; 0,200 % S; 0,010 % P; 0,004 % ZnO; 0,036 % Cr₂O₃; 0,420 % F; 0,080 % TiO₂ (по массе).

Химический состав наплавленного металла (табл. 2) определяли рентгенофлюоресцентным методом в ЦКП «Материаловедение» на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Полученные химические составы шлаковых корок приведены в табл. 3.

Измерение твердости (табл. 4) наплавленных образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013 – 59. Скорость истирания (табл. 5) наплавленных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1.

Таблица 3

Результаты рентгеноспектрального анализа шлаков

Образец	Доля элементов, % (по массе)									
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	WO ₃	ZnO
403	2,09	6,90	29,02	44,72	8,32	6,84	0,18	0,011	0,52	0,005
404	2,82	6,84	28,95	44,14	7,71	7,44	0,15	0,011	0,56	0,005
408	2,65	6,54	26,59	45,51	10,04	2,74	0,27	0,011	0,65	0,003
409	2,21	6,66	26,89	45,68	10,07	2,79	0,28	0,011	0,63	0,005
410	2,65	6,55	26,74	45,94	10,66	2,72	0,28	0,011	0,68	0,002

Таблица 4

Результаты замеров твердости по HRC

Образец	Твердость HRC замера										Среднее значение HRC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
403	67,2	65,7	70,6	71,2	67,5	73,9	73,7	68,7	70,2	68,9	69,96
404	70,7	66,7	66,4	72,8	68,7	76,7	70,1	71,4	72,6	71,6	70,77
408	73,0	77,0	77,1	75,7	75,4	74,7	70,4	76,7	76,7	79,4	75,61
409	80,2	79,9	80,7	79,8	76,2	79,3	78,0	79,1	70,5	77,8	78,95
410	79,8	79,7	81,3	82,6	78,3	80,0	80,8	79,8	80,1	83,0	80,54

Результаты испытаний на истирание

Образец	V , об/мин	F , Н	τ , час	n	Масса образца, г		ΔG , г	$\Delta G/n$, г/оборот
					до истирания	после истирания		
403	20	30	4	4040	131,7113	130,5138	1,1975	$2,9641 \cdot 10^{-4}$
404	20	30	4	3780	92,9542	92,3861	0,5681	$1,5029 \cdot 10^{-4}$
408	20	30	4	4500	88,0431	87,3815	0,6616	$1,4702 \cdot 10^{-4}$
409	20	30	4	3570	91,0994	90,6043	0,4951	$1,3868 \cdot 10^{-4}$
410	20	30	4	3520	77,6019	77,2340	0,3679	$1,0451 \cdot 10^{-4}$

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

По результатам проведенных исследований были построены графики зависимости истирания образцов (рис. 1), твердости (рис. 2) от количества углерода в наплавленных образцах. Зависимость истирания образцов от показателей твердости представлена на рис. 3.

Выводы. В ходе исследования установлена прямая зависимость твердости HRC и истирания образцов от введения в состав образцов карбидообразующих элементов (вольфрама, ванадия, хрома). Выявлена зависимость повышения твердости образцов от увеличения количества углерода в образцах. С повышением содержания углерода в образцах (0,4, 0,8, 1,0 и 1,2 %) твердость и истирание образцов возрастает. Установлено, что при введении в состав образцов углеродфторсодержащей добавки твердость образцов не уступает по данным показателям образцам, в составе которых использовался аморфный графит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Макиенко В.М. и др. Порошковая проволока для наплавки зубьев ковшей экскаваторов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона // Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 1. С. 7 – 13.
- Малинов Л.С. и др. Новая порошковая проволока, обеспечивающая эффект деформационного упрочнения наплавленного металла при эксплуатации // Автоматическая сварка. 2009. № 5. С. 46 – 48.
- Еремин Е.Н. и др. Порошковая проволока для наплавки коррозионно-стойкой и износостойкой стали // Вестник машиностроения. 2018. № 7. С. 66 – 68.
- Бабинцев А.А., Рябцев И.А. Порошковая проволока для износостойкой наплавки тонколистовых конструкций // Автоматическая сварка. 2017. № 1. С. 64 – 67.
- Козырев Н.А., Уманский А.А., Крюков Р.Е., Соколов П.Д. Разработка новых составов порошковых проволок с целью повышения эксплуатационных характеристик наплавленного слоя. – В кн.: Сборник трудов XIV международного конгресса сталеплавыльщиков, 17 – 21 октября 2016 г. – Москва – Электросталь. – М. – Электросталь, 2016. С. 377 – 381.
- Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А. Влияние углеродфторсодержащей добавки в шихту порошковой проволоки на свойства наплавленного металла. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлур-

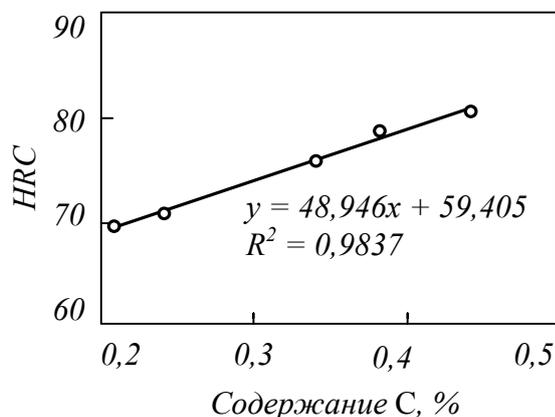


Рис. 1. Зависимость твердости HRC от содержания углерода C в наплавленном металле

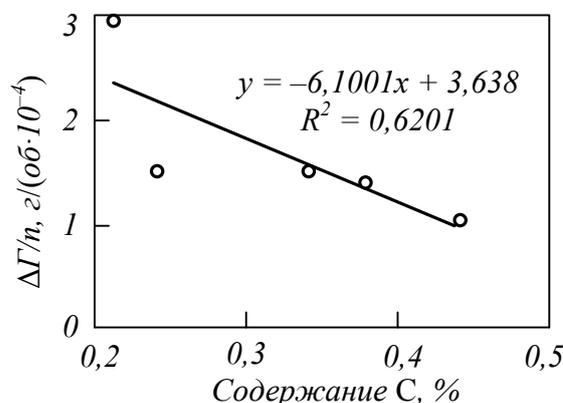


Рис. 2. Зависимость скорости истирания ($\Delta G/n$) от содержания углерода C в наплавленном металле



Рис. 3. Зависимость скорости истирания ($\Delta Г/н$) от твердости образцов (HRC)

гии. Сборник научных трудов. Вып. 32. – М.; Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2014. С. 44 – 47.

7. Титов Д.А. Использование порошковой проволоки хромовольфрамового металла для наплавки прокатных валков. – В кн.: Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении. Сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, 3 – 5 апреля 2014 г. – Томск: ТПУ, 2014. С. 67 – 68.
8. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение качества наплавленного порошковой проволокой 35V9X3СФ валика. – В кн.: Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, 26 – 28 ноября 2015 г. – Томск, 2015. С. 84 – 90.
9. Осетковский И.В., Кибко Н.В., Козырев Н.А., Гусев А.И. Изучение свойств наплавленного металла порошковыми проволоками 40ГМФР и 40Х3Г2МФ. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды XIX Международной научно-практической конференции, 15 – 16 декабря 2015 г. Ч. 2. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. С. 191 – 193.
10. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А. Влияние никеля и углеродфторсодержащей добавки на структуру и свойства наплавляемой стали 25Х5ФМС. – В кн.: Актуальные проблемы в машиностроении. Материалы третьей международной научно-практической конференции, 30 марта 2016 г. № 3. – Новосибирск, 2016. С. 54 – 59.
11. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение влияние состава порошковой проволоки ПП-Нп-35V9X3СФ на свойства наплавляемого валика. – В кн.: Актуальные проблемы в машиностроении. Материалы третьей международной научно-практической конференции, 30 марта 2016 г. № 3. – Новосибирск, 2016. С. 60 – 64.
12. Kozurev N.A., Galevskiy G.V., Titov D.A., Kolmogorov D.E., Gusarov D.E. On quality of a weld bead using power wire 35V9H3SF // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 8.
13. Гусев А.И., Осетковский И.В. Изучение свойств металла наплавленного порошковой проволокой системы С – Mn – Si – Cr – V – Mo – Co. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 1 – 3 июня 2016 г. Вып. 20. Ч. 3: Естественные и технические науки. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2016. С. 274 – 276.
14. Кашин С.С., Денисов П.А.; Козырев Н.А. Изучение технологии наплавки порошковой проволокой. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13 – 15 июня 2018 г. Вып. 22. Ч. 2. Естественные и технические науки. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2018. С. 217 – 218.
15. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е. Изучение влияния кобальта на структуру и свойства наплавленного порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V металла. – В кн.: Актуальные проблемы в машиностроении. Т.4. № 2. – Новокузнецк, 2017. С. 100 – 106.
16. Osetkovskiy I.V., Kozurev N.A., Kryukov R.E. Abrasive wear resistance comparative analysis of the metal surfaced by flux cored wires systems Fe – C – Si – Mn – Ni – Mo – W – V and Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V // Materials and processing Technology. Materials science forum. 2017. Vol. 906. P. 1 – 7.
17. Osetkovskiy I.V., Kozurev N.A., Kryukov R.E. Studying the influence of tungsten and chromium additives in flux cored wire system Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co on surfaced metal properties // Materials and processing Technology. Materials science forum. 2017. Vol. 906. P. 107 – 113.
18. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Попова М.В., Корнев Е.С. Изучение влияния кобальта на механические свойства и структуру металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Ni – Mo – V. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество.

Труды XX Международной научно-практической конференции. В 2-х ч. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2017. С. 316 – 321.

19. Пат. 2632505 РФ. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Осетковский И.В., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Гусев А.И., Козырева О.Е., Усольцев А.А.; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Заявл. 22.06.2016.

20. Пат. 2641590. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Гусев А.И., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В., Усольцев А.А., Козырева О.А.; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Заявл. 22.06.2016.

© 2019 г. *Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, А.Р. Михно, А.А. Усольцев, П.А. Денисов*
Поступила 19 ноября 2019 г.