

УДК 621.791:624

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОСТАВОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ $C - Si - Mn - Cr - V - Mo$ ДЛЯ НАПЛАВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ*

Козырев Н.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного
и сварочного производства (kozzyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

Кибко Н.В., к.т.н., ст. преподаватель кафедры материаловедения, литейного
и сварочного производства (krivicheva_nv@mail.ru)

Уманский А.А., к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов (umanskii@bk.ru)

Титов Д.А., аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства

Никитин А.Г., д.т.н., доцент, директор института машиностроения
и транспорта (nikitin1601@yandex.ru)

Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. На основании результатов лабораторных исследований показано положительное влияние ввода в состав порошковой проволоки марки 25Х5ФМС для наплавки прокатных валков углеродфторсодержащей добавки и никеля. В частности, установлено, что использование углеродфторсодержащего материала взамен аморфного графита снижает загрязненность наплавленного слоя неметаллическими включениями, а введение в состав порошковой проволоки никеля измельчает зерно аустенита и обеспечивает образование мелкодисперсных карбидов, что способствует повышению термической стойкости наплавленного слоя. Получены данные о повышении твердости наплавленного слоя металла при увеличении углеродного эквивалента наплавочной порошковой проволоки марки 25Х5ФМС.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, прокатные валки, металлографические исследования, микроструктура, неметаллические включения, твердость, скорость истирания, остаточный аустенит.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-10-727-734

Повышение работоспособности прокатных валков электродуговой наплавкой является важнейшим резервом увеличения производства проката и экономии металла за счет продления срока службы валков. В отечественной металлургии накоплен значительный опыт по восстановлению наплавкой прокатных валков сортовых, трубных, заготовочных и листовых станов [1 – 5].

Рабочие валки станов горячей прокатки работают в условиях циклического термомеханического воздействия, основной причиной выхода валков из строя является образование на их поверхности трещин разгара и износ. Определяющим является образование глубоких трещин разгара, для удаления которых требуется большой сьем активного слоя токарной обработкой перед каждой новой кампанией прокатки.

Для наплавки валков горячей прокатки традиционно применяются наплавочные материалы Нп-30ХГСА, Нп-35В9Х3СФ, Нп-25Х5ФМС, Нп-30Х4В2М2ФС [6 – 9]. При этом, поскольку ресурс этих наплавочных материа-

лов на сегодняшний момент практически исчерпан, активно ведутся разработки новых составов порошковых проволок. В частности, на ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» и ЧНПКФ «РЕММАШ» совместно с металлургическими заводами Криворожский горно-металлургический комбинат «Криворожсталь», Донецкий металлургический комбинат им. Дзержинского и металлургический комбинат «Запорожсталь» выполнен комплекс работ, направленных на совершенствование наплавочных материалов, технологии и оборудования для наплавки прокатных валков [10]. Разработаны и внедрены в производство наплавочные порошковые проволоки шести новых составов на базе систем легирования $C-Si-Mn-Cr-Mo-V-Ti$ и $C-Si-Mn-Cr-W-Mo-V-Ni$. Применение порошковых проволок разработанных составов позволило увеличить износостойкость и трещиностойкость прокатных валков до двух раз по сравнению с традиционно используемыми наплавочными материалами.

В рамках развития направления по совершенствованию составов наплавочных материалов разработан новый состав порошковой проволоки на базе Нп-25Х5ФМС с использованием углеродфторсодержащего материала – пыли газоочистки производства алюминия [11 – 13].

* Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к.

При испытании, исследовании и измерении использовано оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ.

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях изготовлены образцы порошковой проволоки марки ПП-Нп-25Х5ФМС с использованием пыли газоочистки производства алюминия взамен аморфного углерода. Состав углеродфторсодержащего материала следующий: 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 (по массе). Наплавку проводили на пластины из стали 09Г2С в шесть слоев.

В ходе проведения лабораторных исследований изготовлены две партии образцов. В шихту образцов первой партии (образцы 1 – 5) вводили аморфный углерод, углеродфторсодержащую добавку и никель (см. таблицу). При изготовлении второй партии образцов (6 – 10) использовали аморфный графит, углеродфторсодержащую пыль и никель в количестве 0,50, 0,56 и 0,81 % (см. таблицу).

Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013 – 59.

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Металлографические исследования микрошлифов осуществляли с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений 100 – 1000 после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82 при увеличении 100. Дисперсность мартенсита оценивали при сопоставлении структуры с эталонами соответствующих шкал и размеров игл

мартенсита с данными таблицы № 6 ГОСТ 8233 – 56. Определение длины игл мартенсита осуществляли с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778 – 70. Полированную поверхность изучали при увеличении 100 с помощью металлографического микроскопа ЛабоМет-1И.

С целью изучения свойств отдельных участков микроструктуры стали (в частности, мартенсита) использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требованиями ГОСТ 9450 – 76. Исследования (определение твердости по Виккерсу) выполняли на цифровом микротвердомере модели HVS-1000 с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца проводили десять измерений микротвердости мартенсита по следующей методике: в поверхность исследуемого образца под нагрузкой 1 Н вдавливали наконечник в форме четырехгранной алмазной пирамиды; после снятия нагрузки число твердости определяли в соответствии с длинами диагоналей полученного отпечатка. Расчет твердости по Виккерсу, отображение значения на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком выполнены автоматически с помощью CCD-камеры с соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 со следующими параметрами: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А) 75 – 750 мин⁻¹; диапазон измерения момента трения (диапазон I) 1 – 10 Н·м.

Химический состав образцов порошковой проволоки

Chemical composition of the samples of cored wire

Образец	Содержание, %									
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	V	Ti
1	0,15	1,59	1,67	0,18	0,35	1,11	0,16	0,032	0,35	0,006
2	0,20	1,33	2,16	0,17	3,52	1,51	0,13	0,04	0,36	0,020
3	0,24	0,93	2,11	0,15	3,18	1,31	0,21	0,054	0,46	0,021
4	0,31	1,19	2,13	0,20	3,50	1,34	0,32	0,064	0,47	0,022
5	0,24	0,92	1,93	0,22	3,00	1,85	0,38	0,034	0,43	0,014
6	0,14	0,39	1,88	0,10	3,05	1,04	0,10	0,014	0,13	0,005
7	0,09	0,29	1,62	0,10	2,95	0,95	0,10	0,011	0,10	0,003
8	0,09	0,28	1,63	0,10	3,23	1,08	0,50	0,011	0,17	0,003
9	0,09	0,33	1,74	0,10	3,15	1,06	0,56	0,011	0,12	0,002
10	0,08	0,35	1,70	0,10	2,99	1,07	0,81	0,007	0,11	0,002

Примечание. 1, 6 – образцы с добавлением аморфного графита; 2, 7 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли; 3 – 5 и 8 – 10 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля.

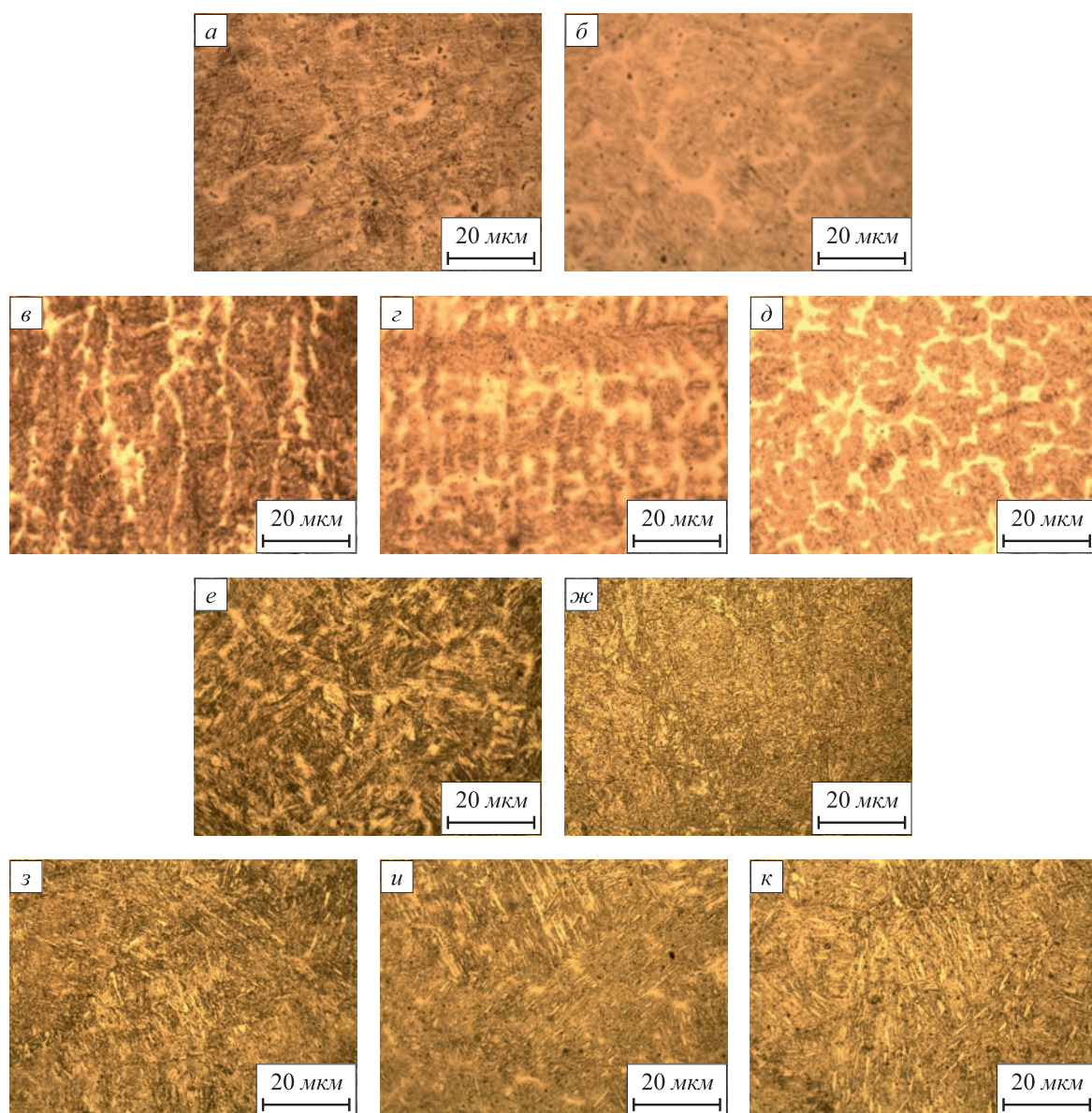


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов 1 – 10 (а – к)

Fig. 1. Microstructure of the researched samples 1 – 10 (a – к)

По полученным данным структура образцов с добавкой аморфного углерода представляет собой мартенсит и небольшое количество остаточного аустенита в межзеновом пространстве (рис. 1, а, е).

Следует отметить, что в структуре образца с аморфным углеродом из второй партии кроме крупноигльчатого мартенсита с размером игл 3 – 12 мкм (балл 7) и остаточного аустенита присутствует ферритная составляющая в виде сетки (рис. 1, е). Для образцов с аморфным углеродом установлено наличие карбидов, распределенных по телу зерен: в образце 1 обнаружены точечные карбиды ванадия и хрома, в образце 6 карбиды имеют более дисперсное строение (0,2 – 1,7 мкм). Величина зерна аустенита по шкале зернистости соответствует в основном № 6 и в некоторых областях № 7 (рис. 2).

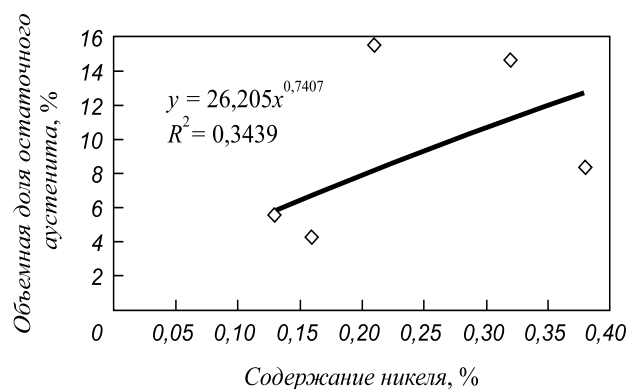


Рис. 2. Зависимость объемной доли остаточного аустенита от содержания никеля в порошковой проволоке 25Х5ФМС

Fig. 2. Dependence of the volume fraction of retained austenite on nickel content in 25Kh5FMS powder cored wire

Установлено, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного графита обеспечивает улучшение структуры наплавленного слоя: способствует образованию мелкодисперсных карбидов (рис. 1, б), что на практике должно привести к повышению термической стойкости; устраняет ферритную сетку (рис. 1, ж), что может оказывать положительное влияние на трещиностойкость стали.

Показано, что использование углеродфторсодержащей пыли приводит к следующим микроструктурным изменениям. После введения углеродфторсодержащей добавки в структуре образца 2 кроме мартенсита и сформированных по границам зерен отдельных тонких аустенитных оторочек присутствует игольчатый троостит, наблюдаются более мелкодисперсные карбиды, а также увеличивается на 23 % объемная доля аустенита (рис. 1, б). Размеры игл мартенсита в структуре наплавленного слоя приведены ниже:

Образец	Размер игл мартенсита, мкм
7	3 – 12
8	3 – 11
9	2 – 15 (в некоторых областях 17 – 19)
10	2 – 15 (в некоторых областях 16 – 25)
11	3 – 15 (в некоторых областях 17 – 24)

Кроме этого, использование углеродфторсодержащего материала обеспечивает устранение ферритной составляющей в виде сетки, охрупчивающей сталь (в структуре образца 7), практически не оказывая при этом влияния на размер игл мартенсита и величину зерна аустенита. Размер игл мартенсита в структуре образца 7 составляет 3 – 11 мкм, величина зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 7.

Введение в состав проволоки никеля, являющегося аустенитообразующим элементом, оказывает положительное влияние на структуру стали 25Х5ФМС, обеспечивая измельчение зерна аустенита (рис. 1). Этот факт согласуется с данными работы [6]. Наиболее эффективное влияние на измельчение зерна аустенита установлено при введении в состав шихты никеля в количестве 0,81 %. В этом случае в структуре металла кроме зерен аустенита с № 6 и № 7 по шкале зернистости присутствуют зерна меньшего размера (величина зерна соответствует № 8). Однако введение меньшего (0,50 и 0,56 %) количества никеля не оказывает такого же положительного влияния на размер зерна аустенита: величина зерна аустенита соответствует № 6 и № 7 (аналогично образцам с добавкой аморфного графита (образец 7) и углеродфторсодержащей пыли (образец 8)).

Ввод в состав порошковой проволоки никеля в количестве 0,50, 0,56 и 0,81 % увеличивает размер игл мартенсита. Металлографический анализ показал, что

в структуре образцов 8 – 10 наблюдается крупноигльчатый мартенсит (балл № 8) в виде темных и светлых игл размером 2 – 15 мкм с правильными и неправильными зубчатыми границами, а в некоторых областях и грубоигльчатый мартенсит (балл № 10) с размером игл 16 – 25 мкм, небольшое количество остаточного аустенита, ферритная сетка, присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды размером 0,3 – 1,6 мкм (рис. 1, з – к). Дополнительное введение 0,50 % никеля в меньшей степени укрупняет иглы мартенсита (на 42 %) по сравнению с использованием никеля в количестве 0,56 и 0,81 % (на 56 и 54 % соответственно).

Введение никеля в состав проволоки увеличивает объемную долю остаточного аустенита на 51 – 72 % (рис. 2). В наплавленном слое объемная доля остаточного аустенита приведена ниже:

Образец	Объемная доля остаточного аустенита, %
1	4,3
2	5,6
3	15,6
4	14,7
5	8,4

При этом в структуре образцов с никелем наблюдаются те же составляющие, что и в образцах с добавлением аморфного графита и углеродфторсодержащей пыли. Так, структура образцов 3 – 5 представляет собой игольчатый троостит, мартенсит и небольшое количество остаточного аустенита с незначительным содержанием включений карбидов (рис. 1, в – д).

Структура и соответственно свойства наплавленного слоя определяются не только количественным содержанием отдельных элементов, в частности, таких как никель и углерод, но и в значительной степени зависят от углеродного эквивалента [14, 15]. Поэтому для исследуемых образцов определяли углеродный эквивалент (C_e) по трем различными формулам: предложенной Международным институтом сварки (Европейский стандарт EN 1011-2:2001); предложенной институтом электросварки им. Е.О. Патона; согласно Российскому стандарту ГОСТ 27772 – 88:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15};$$

$$C_e = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{10} + \frac{V + Cu}{14};$$

$$C_e = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2},$$

где C_e – углеродный эквивалент, %; C, Si, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni, P – массовая доля элементов, %

Результаты определения углеродного эквивалента образцов порошковой проволоки представлены ниже:

Образец	$C_{\Sigma}, \%$		
	$C_{\Sigma 1}$	$C_{\Sigma 2}$	$C_{\Sigma 3}$
1	0,81	0,89	0,88
2	1,66	1,74	1,73
3	1,60	1,65	1,64
4	1,76	1,82	1,80
5	1,66	1,74	1,71
6	1,31	1,36	1,35
7	1,17	1,22	1,21
8	1,30	1,35	1,32
9	1,29	1,36	1,31
10	1,25	1,33	1,27

В результате исследования наплавленного слоя на наличие неметаллических включений установлено, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащего материала взамен аморфного углерода обеспечивает снижение уровня загрязненности стали неметаллическими включениями: отсутствуют строчечные оксидные включения и недеформирующиеся силикаты (рис. 3). Так, использование углеродфторсодержащей добавки (образец 2) способствует удалению значительного ко-

личества строчечных кислородных включений по сравнению с образцом 1 с добавкой аморфного графита.

Введение углеродфторсодержащей пыли (образец 7) способствует снижению количества недеформирующихся силикатов балла 2б и 3б по сравнению с образцом 6 с добавкой аморфного углерода. В образце 7 наблюдаются только точечные оксиды того же балла (1а), что и в образце 6.

Установлено, что использование взамен аморфного графита углеродфторсодержащего материала и никеля обеспечивает не только улучшение структуры, но и повышает твердость HRC стали 25Х5ФМС. Твердость наплавленного слоя исследуемых образцов приведена ниже:

Образец	HRC*
	43,2
1	41,5 / 43,4
	48,1
2	47,0 / 48,5
	51,8
3	51,0 / 54,0
	53,4
4	52,0 / 55,0

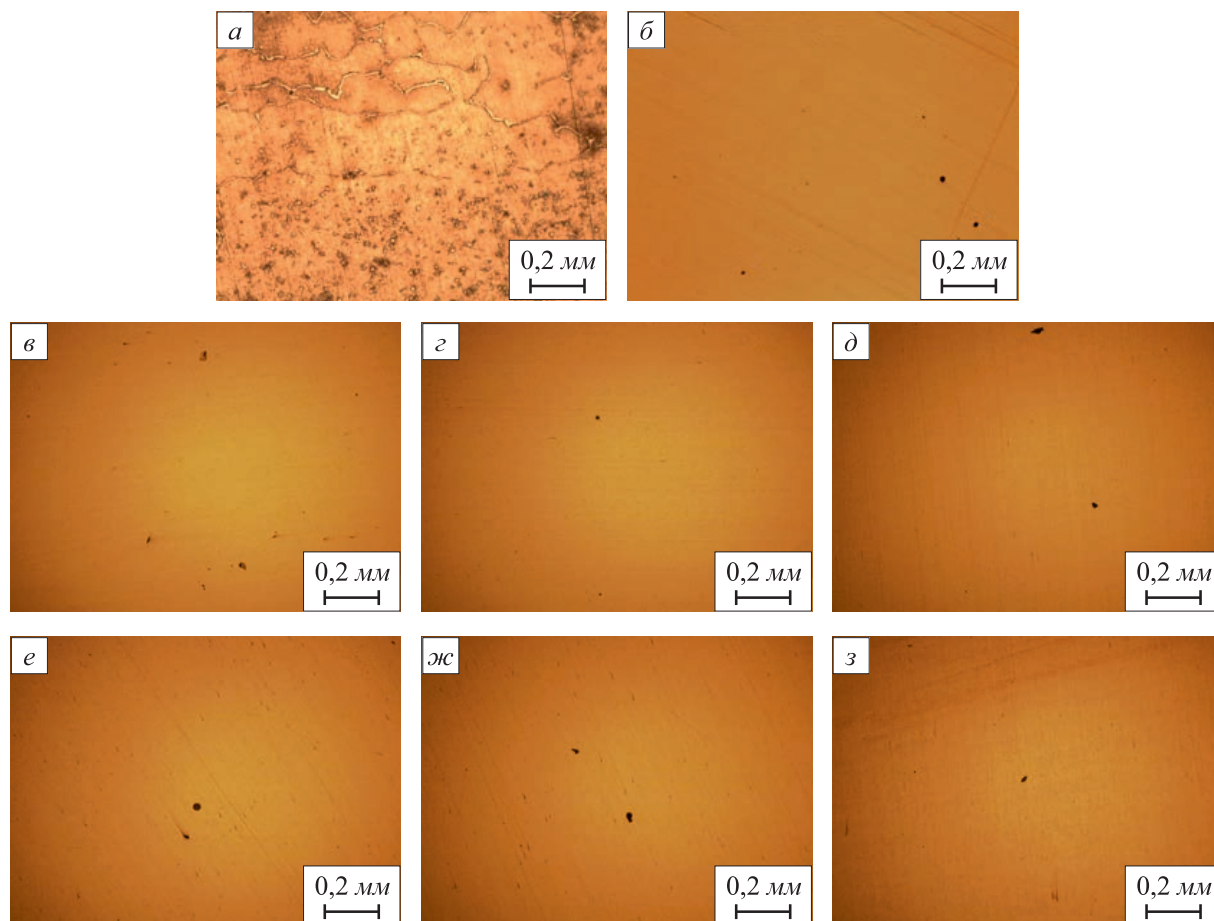


Рис. 3. Характер неметаллических включений в исследуемых образцах 1, 3, 6 – 10 (а – ж)

Fig. 3. Behavior of nonmetallic inclusions in the researched samples 1, 3, 6 – 10 (a – ж)

	54,1
5	51,0 / 56,0
	45,4
6	45,2 / 46,0
	45,0
7	45,0 / 45,5
	45,7
8	45,0 / 46,5
	45,5
9	45,2 / 45,8
	46,1
10	45,2 / 47,5

Пр и м е ч а н и е. В числителе приведено среднее значение, в знаменателе через косую – минимальное и максимальные значения.

При изучении образцов из первой партии установлено, что введение добавки углеродфторсодержащей пыли повышает твердость наплавленного слоя на 10 % (образец 2).

Установлена зависимость твердости наплавленного слоя от углеродного эквивалента: при повышении углеродного эквивалента твердость линейно увеличивается. На рис. 4 показана зависимость твердости от углеродного эквивалента, рассчитанного по предложенной институтом электросварки им. Е.О. Патона формуле. Для расчета выбрана эта формула, поскольку в этом случае коэффициент детерминации наибольший.

В результате изучения микротвердости мартенсита в структуре стали 25Х5ФМС и скорости истирания наплавленного слоя исследуемых образцов из второй партии установлено, что замена аморфного графита на углеродфторсодержащий материал незначительно снижает скорость истирания наплавленного слоя, при этом практически не оказывает влияния на микротвердость мартенсита. Микротвердость мартенсита в структуре стали 25Х5ФМС и скорость истирания (v) наплавленного слоя исследуемых образцов приведены ниже:

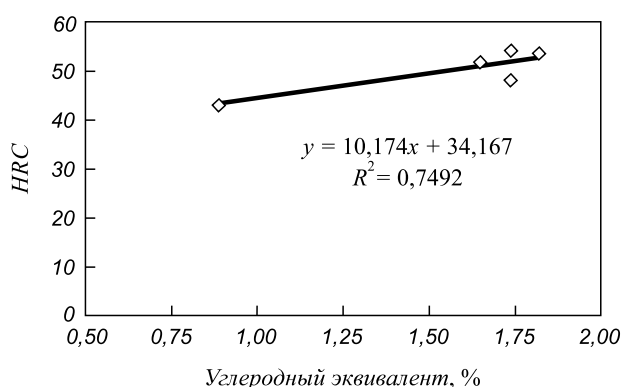


Рис. 4. Зависимость твердости наплавленного слоя от углеродного эквивалента проволоки марки 25Х5ФМС

Fig. 4. Dependence of the hardness of a welded layer on a carbon equivalent of 25Kh5FMS wire

Образец	μ_n , HV	v , г/мин
6	385	0,00059
7	387	0,00055
8	402	0,00053
9	476	0,00057
10	483	0,00053

Фотографии с отпечатком индентора при определении микротвердости приведены на рис. 5.

Выводы. Экспериментальными исследованиями влияния состава порошковой проволоки марки 25Х5ФМС на свойства наплавленного слоя стальных образцов установлено, что ввод в состав порошковой проволоки углеродфторсодержащего материала взамен аморфного графита обеспечивает снижение уровня загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями; дополнительное введение в состав шихты для изготовления порошковой проволоки никеля обеспечивает измельчение зерна аустенита, что способствует повышению термической стойкости наплавленного слоя. На основании статистической обработки экспериментальных данных получена экспериментальная зависимость твердости наплавленного слоя от углеродного эквивалента используемой порошковой проволоки марки 25Х5ФМС. При увеличении углеродного эквивалента, рассчитанного по формуле института электросварки им. Е.О. Патона, твердость наплавленного слоя линейно возрастает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов Л.И., Скорохватов Н.Б., Соболев В.Ф. Увеличение срока службы опорных валков стана 2000 горячей прокатки полос в ОАО «Северсталь» // Черная металлургия. Бюл. НТИЭИ. 2004. № 8. С. 68, 69.
2. Огарков Н.Н., Беляев А.И. Стойкость и качество прокатных валков. – Магнитогорск: изд. МГТУ, 2008. – 131 с.
3. Матвиенко В.Н., Гулаков С.В., Роянов В.А. Восстановление наплавкой деталей металлургического оборудования в условиях ОАО «ММК им. Ильича» // Металл и литье Украины. 2005. № 7-8. С. 66 – 69.
4. Гулидов И.Н. Оборудование прокатных цехов: эксплуатация и надежность. – М.: Интермет инжиниринг, 2004. – 315 с.
5. Трайно А.И. Рациональные режимы эксплуатации и восстановления прокатных валков // Сталь. 2008. № 10. С. 86 – 91.
6. Шебаниц Э.Н., Омеляненко Н.И., Куракин Ю.Н., Матвиенко В.Н. Повышение трещиностойкости и сопротивления износу наплавленных рабочих валков горячей прокатки // Металлург. 2012. № 8. С. 72 – 75.
7. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. – Киев: Экотехнология, 1999. – 64 с.
8. Кальянов В.Н., Новицкая А.В. Повышение долговечности прокатных валков наплавкой экономнолегированной сталью // Сварочное производство. 1997. № 10. С. 23 – 27.
9. Кондратьев И.А., Рябцев И.А., Кусков Ю.М. Дуговая и электрошлаковая наплавка валков прокатных станков // Сварщик. 2004. № 1. С. 7 – 9.

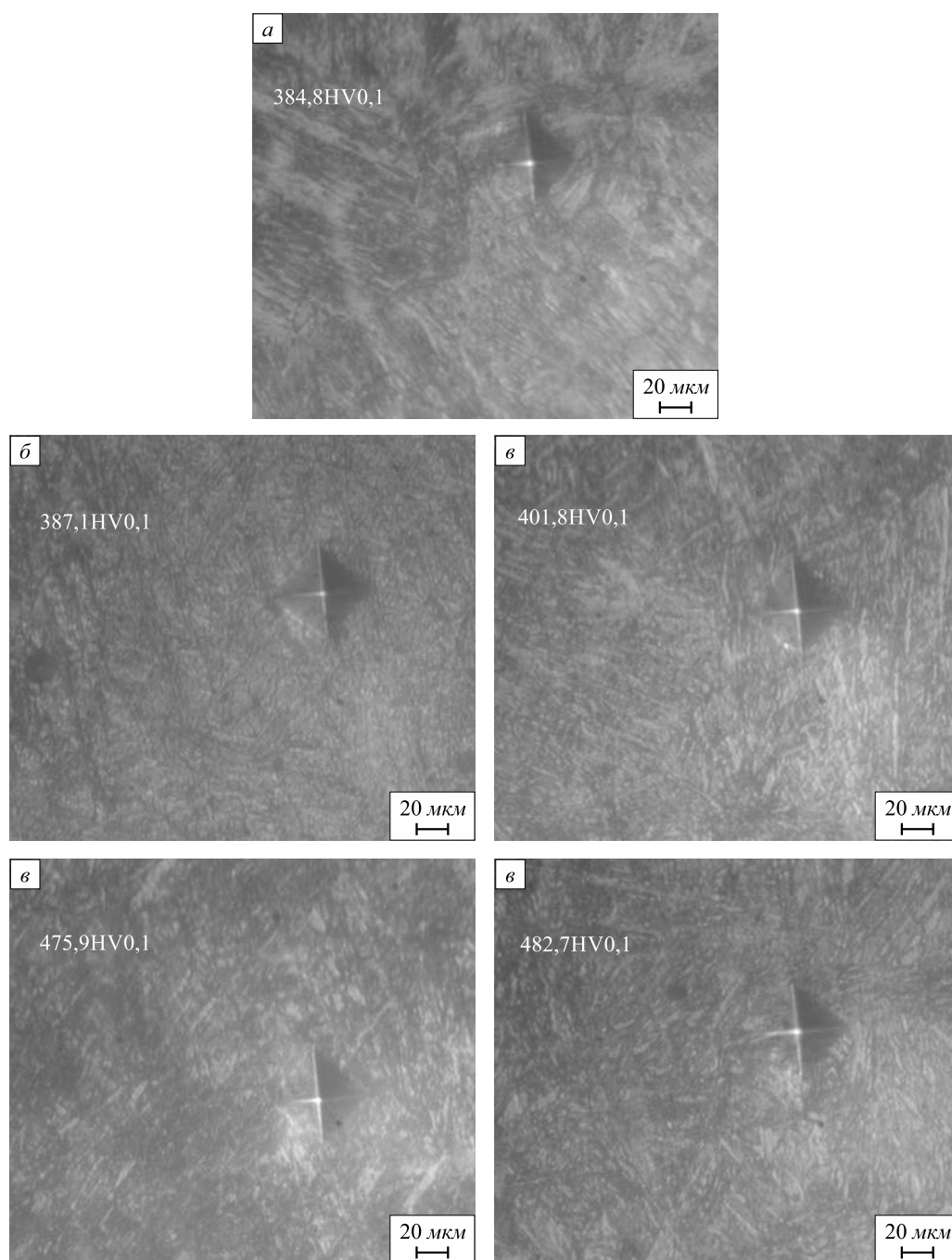


Рис. 5. Микротвердость мартенсита в структуре исследуемых образцов 6 – 10 (а – д)

Fig. 5. Microhardness of martensite in the structure of the researched samples 6 – 10 (a – d)

10. Титаренко В.И., Голякевич А.А., Орлов Л.Н. и др. Восстановительная наплавка валков прокатных станов порошковой проволокой // Сварочное производство. 2013. № 7. С. 29 – 32.
11. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В. и др. Исследование и разработка новых углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 4. С. 258 – 261.
12. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н. и др. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 4. С. 34 – 37.
13. Козырев Н.А., Крюков Н.Е., Крюков Р.Е. и др. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом // Сварочное производство. 2015. № 4. С. 43 – 47.
14. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 487 с.
15. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.

Поступила 13 января 2016 г.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW COMPOSITIONS OF CORED WIRE OF C – Si – Mn – Cr – V – Mo SYSTEM FOR ROLLS SURFACING

*N.A. Kozyrev, N.V. Kibko, A.A. Umanskii, D.A. Titov,
A.G. Nikitin*

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

Abstract. The laboratory results have demonstrated the positive effect of the input of fluorinated carbon additive and nickel into the composition of 25Kh5FMS cored wire for welding of rolls additives comprising. In particular, it was found that the use of material containing carbon and fluorine, instead of amorphous graphite reduces the deposited layer contamination by nonmetallic inclusions, and the input of nickel into the cored wire refines austenite grains and ensures the formation of fine carbides. Thus increases the thermal resistance of the deposited layer. The article describes the data on the hardness increase of the deposited metal layer with the increase of carbon equivalent of surfacing powder cored wire of 25Kh5FMS grade.

Keywords: welding, powder cored wire, mill roll, metallographic research, microstructure, nonmetallic inclusions, hardness, rate of wear, retained austenite.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-10-727-734

REFERENCES

1. Danilov L.I., Skorokhvatov N.B., Sobolev V.F. Increase of service life period of counter rollers of 2000 rolling mill of hot strip rolling at JSC “Severstal”. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta Chermetinformatsiya*. 2004, no. 8, pp. 68–69. (In Russ.).
2. Ogarkov N.N., Belyaev A.I. *Stoikost' i kachestvo prokatnykh valkov* [Durability and quality of rolls]. Magnitogorsk: izd. MG TU, 2008, 131 p. (In Russ.).
3. Matvienko V.N., Gulakov S.V., Royanov V.A. Reduction with welding of parts of metallurgical equipment in the conditions of JSC “Il'ich MMK”. *Metall i lit'e Ukrainy*. 2005, no. 7–8, pp. 66–69. (In Russ.).
4. Gulidov I.N. *Oborudovanie prokatnykh tsekhov: ekspluatatsiya i nadezhnost'* [Equipment of rolling-mill shops: service and durability]. Moscow: Intermet inzhiniring, 2004, 315 p. (In Russ.).
5. Traino A.I. Rational roller operation and restoration. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 10, pp. 871–875.
6. Shebanits E.N., Omel'yanenko N.I., Kurakin Yu.N., Matvienko V.N., Leshchinskii L.K., Dubinskii B.E., Stepnov K.K. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*. 2012, vol. 613–617, no. 7–8, pp. 613–617.
7. Ryabtsev I.A., Kondrat'ev I.A. *Mekhanizirovannaya elektrodugovaya naplavka detalei metallurgicheskogo oborudovaniya* [Mechanical electric-arc welding of the parts of metallurgical equipment]. Kiev: Ekotekhnologiya, 1999, 64 p.
8. Kal'yanov V.N., Novitskaya A.V. Increase of durability of rolling mills when welding with economically alloyed steel. *Svarochnoe proizvodstvo*. 1997, no. 10, pp. 23–27. (In Russ.).
9. Kondrat'ev I.A., Ryabtsev I.A., Kuskov Yu.M. Arc and electro-slag hard-facing of rollers of rolling mills. *Svarshchik*. 2004, no. 1, pp. 7–9. (In Russ.).
10. Titarenko V.I., Golyakevich A.A., Orlov L.N., Mosypan V.V., Babenko M.A., Telyuk D.V., Tarasenko V.V. Reducing welding of rollers of rolling mills with powder cored wire. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013, no. 7, pp. 29–32. (In Russ.).
11. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Roor A.V., Bashchenko L.P., Lipatova U.I. Research and development of new carbon-fluorine-containing additives for welding fluxes. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 4, pp. 258–261. (In Russ.).
12. Kozyrev N.A., Titov D.A., Starovatskaya S.N., Kozyreva O.E., Shurupov V.M. The influence of the introduction of the charge for the production flux-cored wire system with C – Si – Mn – Cr – V – Mo carbon-fluorine-containing additives and nickel. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, no. 4, pp. 34–37. (In Russ.).
13. Kozyrev N.A., Kryukov N.E., Kryukov R.E., Igushev V.F., Koval'skii I.N. Technological aspects of using a carbon–fluorine-containing addition in submerged-arc welding. *Welding International*. 2016, vol. 30, no. 4, pp. 325–328.
14. Makarov E.L., Yakushin B.F. *Teoriya svarivaemosti stalei i splavov* [Theory of welding characteristics of steels and alloys]. Moscow: izd. MG TU im. N.E. Bauman, 2014, 487 p. (In Russ.).
15. Lakhtin Yu.M., Leont'eva V.P. *Materialovedenie* [Material science]. Moscow: Al'yans, 2013, 528 p. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was performed in SibSIU in the frameworks of the project part of the State task of the Ministry of Education and Science RF no. 11.1531.2014/k. When testing, researching and measuring, the authors have used the equipment of the Center of multiple-access “Material Science” of SibSIU.

Information about the authors:

N.A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

N.V. Kibko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production” (krivicheva_nv@mail.ru)

A.A. Umanskii, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy (umanskii@bk.ru)

D.A. Titov, Postgraduate of the Chair “Materials, Foundry and Welding Production”

A.G. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Assist Professor, Director of Institute of Mechanical Engineering and Transport (nikitin1601@yandex.ru)

Received January 13, 2016