

УДК 621.791.92:621.771.07

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВЕДЕНИЯ В ШИХТУ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ $C-Si-Mn-Cr-W-V$ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ И НИКЕЛЯ\*

*Н.А. Козырев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой*

*Д.А. Титов, магистрант*

*С.Н. Старовацкая, к.т.н., доцент*

*В.М. Шурупов, старший преподаватель*

*В.Ф. Горюшкин, д.х.н., профессор, заведующий кафедрой*

Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк, Россия)

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования влияния введения в шихту для производства порошковой проволоки типа ПП-Нп-35В9Х3СФ углеродфторсодержащей добавки (отходов металлургического производства) и порошкообразного никеля. Введение в состав шихты для производства проволоки системы  $C-Si-Mn-Cr-W-V$  углеродфторсодержащей добавки и никеля способствует удалению оксидных неметаллических включений, более равномерному распределению углерода в металле шва и образованию мелкодисперсных карбидов. Ожидается, что на практике введение добавок приведет к повышению термической стойкости прокатных валков.

**Ключевые слова:** наплавка, порошковая проволока, прокатные валки, наплавленный металл, карбиды.

E-MAIL: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru

Восстановление прокатных валков станов горячей прокатки позволяет повысить ресурс их работы и увеличить производительность прокатных станов. Наиболее нагруженные валки горячей прокатки упрочняются наплавкой порошковой проволокой типа ПП-Нп-35В9Х3СФ (по ГОСТ 26101 – 84) с большим содержанием дорогостоящего вольфрама.

Опыт эксплуатации наплавленных валков свидетельствует о том, что износ их поверхности происходит неравномерно. Валки в процессе работы подвергаются воздействию циклических термомеханических нагрузок, коррозии и абразивному изнашиванию. Нередко имеет место полосчатый износ, причиной которого может быть наличие участков наплавленного металла с различной структурой и твердостью. Такие участки наблюдаются при многослойной наплавке легированных сталей с перекрытием ранее наплавленного валика. Металл, наплавленный проволокой типа 35В9Х3СФ, обладает высокой стойкостью против истирания при повышенных температурах, но его термическая выносливость относительно невысока, поэтому валки, наплавленные этой проволокой, часто выходят из строя из-за образования сетки трещин разгара и выкрашивания [1, 2].

Анализ причин выхода из строя валков станов горячей прокатки, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ под флюсом, свидетельствует о том, что возможности сплавов системы  $C-Si-Mn-Cr-W-V$  до конца не реализованы и в последнее время тщательно изучаются [2]. Поэтому представляет интерес исследова-

ние влияния изменения химического состава дорогостоящих компонентов, входящих в данную систему, а также влияния добавок в шихту для производства порошковой проволоки различных компонентов с целью получения новых свойств наплавленного металла и снижения себестоимости самой порошковой проволоки.

В процессе работы валка под воздействием высоких температур наблюдается коагуляция и укрупнение зерен карбидов по границам зерен, с последующим выкрашиванием и развитием трещин разгара. Образование трещин в наплавленном металле, по-видимому, предопределено химической неоднородностью, связанной с наличием различных структурных составляющих [3]. Химическая неоднородность отдельных приграничных зон имеет место после наплавки вследствие воздействия термического цикла наплавки (особенно тел вращения) и сохраняется в процессе эксплуатации валков при термомеханическом воздействии со стороны горячего прокатываемого металла.

Для снижения развития процессов коагуляции карбидов, уменьшения структурной неоднородности наплавленного металла необходимо изменить структурное состояние границ зерен, что возможно путем оптимизации соотношения количества углерода и карбидообразующих элементов, повышением устойчивости аустенита и отработкой режимов наплавки, позволяющих увеличить скорость охлаждения наплавленного металла.

В лабораторных условиях были изготовлены образцы стандартной порошковой проволоки марки ПП-Нп-35В9Х3СФ, которая используется для наплавки валков горячей прокатки и роликов транспортирующих рольгангов. Многослойную наплавку образцов прово-

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

дили с предварительным подогревом пластин до 350 °С и последующим (после наплавки) замедленным охлаждением. Наплавку осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины из стали 09Г2С в пять слоев; режим наплавки: сварочный ток 400 А, напряжение на дуге 32 В, скорость сварки 0,8 см/с.

При изготовлении проволоки количество вводимых в шихту дорогостоящих вольфрама и хрома рассчитывали ниже оговоренных для проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ по ГОСТ 26101 – 84. В состав шихты для производства ряда образцов проволоки вводили никель, а аморфный углерод заменяли на углеродфторсодержащую пыль (отходы металлургического производства) 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 (по массе). Дисперсность этого материала позволяет проводить хорошее смешение с металлической составляющей шихты для производства порошковой проволоки. Ранее проведенные эксперименты по введению этого материала в состав сварочных флюсов показали, что углерод в составе углеродфторсодержащей пыли обладает повышенной активностью, раскисляет металл и восстанавливает оксиды, находящиеся в металле и в шлаке, с образованием оксидов углерода [4 – 7]. Это позволило использовать для наплавки вы-

соколегированной проволокой слабоокислительный флюс марки АН-67 (по ГОСТ Р 52222 – 2004). Марганец в состав шихты для производства проволоки не добавляли в связи с его восстановлением из образующегося шлака. Происходило частичное восстановление кремния из шлака. Как показали эксперименты, образующийся шлак практически не окисляет легирующие элементы в составе наплавленного металла.

Химический состав наплавленного металла определяли с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF-1800 и атомно-эмиссионного спектрометра ДФС-71. Металлографические исследования микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при различных увеличениях после травления в спиртовом растворе азотной кислоты, а также в растворе плавиковой кислоты. Замеры твердости проводили с использованием ультразвукового твердомера УЗИТ-3. Составы исследуемых порошковых проволок и твердость наплавленного металла приведены в таблице.

При использовании в качестве добавки аморфного графита (образец 1) наплавленный металл имеет дендритную структуру (мартенсит с остаточным аустенитом в межосевом пространстве) (рис. 1). Присутствует значительное количество строчечных кислородных включений, являющихся концентраторами напряжений и местами зарождения хрупких трещин (рис. 2). Точечные карбиды вольфрама и хрома распределены по телу зерен.

**Составы исследуемых порошковых проволок и твердость наплавленного металла**

Образец	Массовая доля, %, элементов											HRC
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	
1	0,27	1,62	1,42	0,19	2,93	0,14	0,14	0,040	11,39	0,47	0,020	49,0
2	0,23	0,69	1,04	0,21	1,92	0,09	0,16	0,039	5,58	0,15	0,019	50,8
3	0,24	0,83	1,83	0,24	2,16	0,09	0,29	0,054	7,49	0,27	0,019	53,3
4	0,26	0,77	1,72	0,26	2,17	0,09	0,33	0,042	6,12	0,29	0,016	53,0
5	0,33	1,37	1,06	0,22	2,80	0,10	0,61	0,070	10,71	0,42	0,040	54,8

Пр и м е ч а н и е. Образец 1 изготовлен с использованием графита аморфного, образцы 2 – 5 – с применением углеродфторсодержащей пыли и порошка никеля с различной концентрацией.

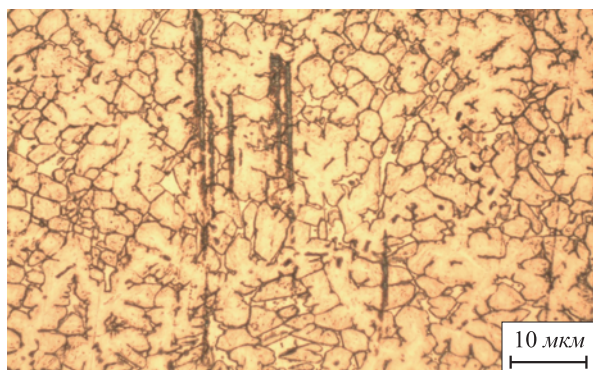


Рис. 1. Мартенсит (темно-желтый), остаточный аустенит (светло-желтый), карбиды (мелкие, точечные по телу зерен)

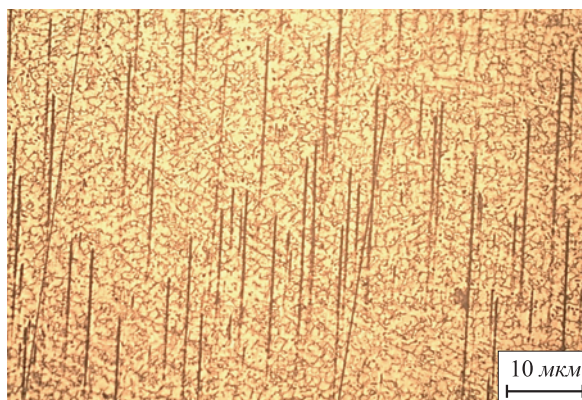


Рис. 2. Строчки неметаллических включений

Металлографический анализ показал, что структура металла, наплавленного опытной порошковой проволокой, представляет собой игольчатый троостит с мартенситом, по границам зерен отдельных тонких аустенитных оторочек формируется незначительное количество включений карбидов. На рис. 3 приведена структура образца 5, полученного с использованием углеродфторсодержащего материала и добавкой никеля. Углеродфторсодержащая добавка в шихту для производства проволоки способствовала удалению оксидных неметаллических включений, более равномерному распределению углерода в металле шва и образованию мелкодисперсных карбидов, что на практике должно привести к повышению термической стойкости.

Для повышения термической стойкости металла путем стабилизации аустенита и измельчения зерен в состав шихты для производства порошковой проволоки вводили никель. Объемная доля остаточного аустенита в наплавленном слое (среднее значение по трем полям) образцов 2, 3 и 4 при различном количестве никеля составляет 15,4, 5,2 и 6,8 % соответственно.

**Выводы.** Введение в состав шихты для производства проволоки системы C–Si–Mn–Cr–W–V углеродфторсодержащей добавки и никеля позволяет значительно снизить уровень загрязненности оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла, а также способствует образованию мелкодисперсных карбидов, что на практике должно привести к повышению термической стойкости прокатных валков.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашенко Ф.Д., Фрумин И.И., Гордань Г.Н. Особенности износа прокатных валков и вопросы разработки напла-

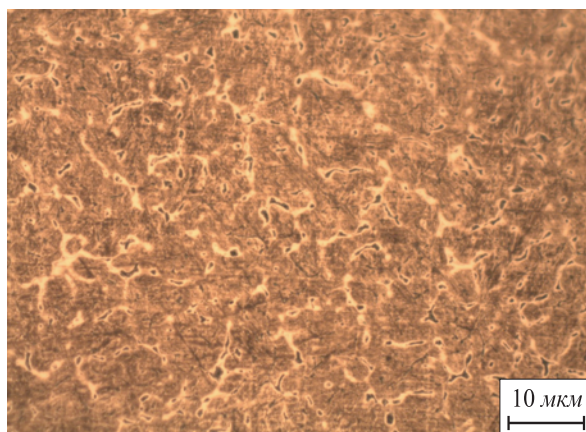


Рис. 3. Мартенсит (темно-коричневый), карбиды (темные на фоне светлых полей остаточного аустенита)

- вочных материалов – В кн.: Современные способы наплавки и их применение. – Киев: изд. ИЭС им. Е.О. Патона, 1982. С. 24 – 29.
2. Титаренко В.И., Голякевич А.А., Орлов Л.Н. и др. // Сварочное производство. 2013. № 7. С. 29 – 32.
3. Кондратьев И.А., Васильев В.Г., Дзыкович И.Я. // Автоматическая сварка. 1996. № 6. С. 17 – 20.
4. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 6. С. 26 – 29.
5. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 10. С. 35 – 38.
6. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 4. С. 30 – 33.
7. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Роор А.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 8. С. 33 – 36.

© 2014 г. Н.А. Козырев, Д.А. Титов,  
С.Н. Старовацкая, В.М. Шурупов, В.Ф. Горюшкин  
Поступила 25 ноября 2013 г.

## THE INFLUENCE OF THE INTRODUCTION OF THE CHARGE FLUX-CORED WIRE SYSTEM WITH C–Si–Mn–Cr–W–V CARBON-FLUORINE-CONTAINING ADDITIVES AND NICKEL

N.A. Kozyrev, Dr. Eng., Professor, Head of Chair  
D.A. Titov, Postgraduate Student  
S.N. Starovatskaya, Cand. Eng., Assist. Professor  
V.M. Schurupov, Senior Lecturer  
V.F. Goryushkin, Dr. Eng., Professor, Head of Chair

Siberian State Industrial University (Novokuznetsk, Kemerovo region, Russia)

E-MAIL: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru

**Abstract.** The paper presents experimental studies of the introduction influence of a flux-cored wire of PP-H-25H5FMS carbon-fluorine-containing fluoride supplements (metallurgical wastes) and powdered nickel. The introduction of the C-wire system C–Si–Mn–Cr–W–V carbon-fluorine-containing additives and nickel can reduce significantly the level of contamination of non-metallic oxide inclusions of weld metal, grinding grain; and it also reduces the volume fraction of retained austenite in the weld layer and the formation of small dispersed carbides. The results predict the increase of thermal stability of mill rolls when using the produced wire.

**Keywords:** welding, flux-cored wire mill rolls, weld metal carbides.

#### REFERENCES

1. Kashhenko F.D., Frumin I.I., Gordan' G.N. *Osobennosti iznosa prokatnykh valkov i voprosy razrabotki naplavochnykh materialov. Sovremennye sposoby naplavki i ih primeneniye* (Features wear of rolls and design issues surfacing materials. Modern methods of welding and their application). Kiev: izd. IJeS im. E.O. Patona, 1982. Pp. 24 – 29.
2. Titarenko V.I., Golyakevich A.A., Orlov L.N. etc. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013. № 7. Pp. 29 – 32.
3. Kondrat'ev I.A., Vasil'ev V.G., Dzykovich I.Ya. *Avtomaticheskaya svarka*. 1996. № 6. Pp. 17 – 20.
4. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Starovatskaya S.N. etc. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2012. № 6. Pp. 26 – 29.
5. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Goldun Z.V. etc. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2012. № 10. Pp. 35 – 38.
6. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Kryukov R.E. etc. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2013. № 4. Pp. 30 – 33.
7. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Kryukov R.E., Roor A.V. *Izv. vuz. Chernaya metallurgiya*. 2013. № 8. Pp. 33 – 36.

Received November 25, 2013