

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 38

Москва
Новокузнецк
2017

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 38 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянец (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2017 – 230 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 45, табл. 28, библиогр. назв. 222.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянец М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спиринов Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ
АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

| | |
|----------------|---|
| Базайкин В.И. | д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Галевский Г.В. | д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Деев В.Б. | д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва |
| Дорофеев В.В. | д-р техн. наук, АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк |
| Козырев Н.А. | д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Оршанская Е.Г. | д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Руднева В.В. | д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Селянин И.Ф. | д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк |
| Темлянцев М.В. | д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк |

Содержание

| | |
|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 7 |
| МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ | 8 |
| <i>Чжан Кэ</i> | |
| Проектно-исследовательский институт цветной металлургии Китая: научно-технологический потенциал, проектирование, строительство, инжиниринг, рециклинг горно-металлургических, энергетических и водохозяйственных объектов | 9 |
| <i>И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов</i> | |
| Влияния щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe в нейтральной среде | 13 |
| <i>В.М. Павловец</i> | |
| Анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании | 22 |
| <i>В.М. Павловец</i> | |
| Анализ технических решений, направленных на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей | 30 |
| <i>В.М. Павловец</i> | |
| Анализ технических решений, направленных на управление процессом зародышеобразования в производстве окатышей, основанном на принудительном зародышеобразовании | 37 |
| <i>В.Б. Деев, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева</i> | |
| Влияние железа на характер кристаллизации, литейные и механические свойства заэвтектического силумина | 43 |
| <i>М.В. Темлянец, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго, В.Я. Целлермаер</i> | |
| Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окарины | 48 |
| <i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i> | |
| Совершенствование режимов прокатки остряжковых рельсов на универсальном рельсобалочном стане | 55 |
| <i>Е.С. Прусов, В.Б. Деев</i> | |
| Перспективы применения ультразвука при вводе наночастиц в алюминиевые расплавы | 64 |
| <i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i> | |
| Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1000 | 70 |
| <i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i> | |
| Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000 | 76 |
| <i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С.Н. Кратько, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев</i> | |
| Анализ токового режима работы сварочной машины К1000 при сварке рельсов на этапе оплавления | 81 |
| ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 88 |
| <i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> | |
| Термодинамическое моделирование плазмосинтеза карбида циркония | 89 |
| <i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i> | |
| Исследование механизма плазмосинтеза диборида титана | 97 |

| | |
|--|-----|
| <i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i> | |
| Окисление нанокристаллического диборида титана при хранении и нагревании в воздушной среде..... | 107 |
| ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ | |
| <i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i> | |
| Расчеты энергии атомных систем в приближении постоянной электронной плотности..... | 118 |
| <i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i> | |
| Исследование взаимодействия электронных оболочек атомов с различным набором квантовых чисел | 123 |
| <i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i> | |
| Выполнение теоремы Купманса в приближении постоянной электронной плотности..... | 128 |
| <i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i> | |
| Расчет корреляционной поправки первого порядка в модели постоянной электронной плотности..... | 133 |
| <i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i> | |
| Расчет корреляционной поправки в движении электронов в поле точечного положительного заряда ядра..... | 142 |
| <i>А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский</i> | |
| Свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co | 147 |
| <i>И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова</i> | |
| Свойства металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V..... | 155 |
| ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ | |
| <i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, В.С. Александров</i> | |
| Мировое и отечественное производство алюминия: оценка, тенденции, прогнозы..... | 164 |
| <i>Т.А. Михайличенко, А.Г. Гальчун</i> | |
| Использование возобновляемых биоэнергетических ресурсов в разных странах..... | 171 |
| ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ | |
| <i>Д.И. Оршанский, Е.Г. Оршанская</i> | |
| Личностно ориентированная модель деятельности современного преподавателя | 176 |
| <i>Т.Г. Моисеенко</i> | |
| Формы и методы повышения квалификации учителей..... | 182 |
| <i>Е.Г. Оршанская</i> | |
| Мастер-класс как средство повышения уровня владения иностранным языком | 186 |
| <i>Ю.К. Осипов</i> | |
| Архитектура, образование, проблемы и реальность..... | 193 |
| ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ | |
| <i>Г.Г. Волокитин</i> | |
| Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология алюминиевого производства» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Наука : Флинта, 2017 – 265 с.)..... | 198 |
| <i>Г.Г. Волокитин</i> | |
| Рецензия на учебное пособие «Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Флинта : Наука, 2017. – 218 с.)..... | 200 |

| | |
|--|------|
| <i>Н.В. Немчинова</i> | |
| Рецензия на монографию «Применение буроугольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья» (Авторы Аникин А.Е., Галевский Г.В. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 156 с.) | 202 |
| <i>В.В. Лавров</i> | |
| Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетягко, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.) | 205 |
| <i>В.В. Дорофеев</i> | |
| Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетягко, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.) | 207 |
| <i>Ф.И. Иванов</i> | |
| Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой | 209 |
| <i>А.В. Маркидонов</i> | |
| Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой | 211 |
| <i>А.Н. Смирнов</i> | |
| Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева | 213 |
| <i>В.А. Москинов</i> | |
| Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева | 214 |
| <i>Е.П. Вольнкина</i> | |
| Рецензия на монографию Л.Б. Павлович, А.В. Салтанова, Н.Ю. Соловьевой «Утилизация отходов в коксохимическом производстве» | 216 |
| <i>Б.И. Ермаченко</i> | |
| Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель – заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектуры СибГИУ | 218 |
| <i>Г.И. Стороженко</i> | |
| Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель | 220 |
| <i>А.А. Бабенко</i> | |
| Рецензия на учебное пособие «Энерготехнология твердого топлива» авторы Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Юрьев А.Б. | 222 |
| К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича | 2244 |
| К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского | 2266 |
| К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ | 2288 |

УДК 519.237: 669.018.25

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

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

СВОЙСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ СИСТЕМ FE-C-SI-MN-NI-MO-W -V И FE-C-SI-MN- CR-NI-MO-V

В статье представлен сравнительный анализ структур наплавленного металла порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V и Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V. Предполагается использование данных проволок при восстановлении деталей и узлов механизмов и машин, работающих в условиях ударно абразивного и абразивного изнашивания.

Изготовление порошковой проволоки, и наплавка проводились в лабораторных условиях. Определен химический состав наплавленного металла. Образцы подвергались испытаниям на износостойкость и твердость.

В ходе металлографического анализа наплавленных поверхностей проведены металлографические исследования: определены характер и уровень загрязненности оксидными неметаллическими включениями, строение и тип микроструктуры, величина зерна наплавленных образцов. Произведена оценка влияния составляющих компонентов химического состава наплавленного металла на твердость и износ.

The article presents a comparative analysis of the weld metal structures with powder wires systems Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V and Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V. It is assumed that the data wires at restoration of components and units of machinery and equipment, working in conditions of shock abrasive and abrasive wear. Flux cored wire fabrication and welding were performed under laboratory conditions. Determined the chemical composition of the deposited metal. Samples were subjected to tests for durability and hardness. In the course of the metallographic analysis of weld surfaces held metallographic studies: the nature and level of contamination of non-metallic inclusions, oxide structure and microstructure type, grain overlaid samples. Assess influence of constituents of the chemical composition of weld metal on hardness and wear.

Разработка новых материалов и использование инновационных технологий восстановления, значительно повышающих износостойкость изделий,

является актуальной задачей машиностроения. Для этих целей ведётся разработка и изготовление специальных методов и материалов для наплавки [1-16]. Наибольшее распространение для наплавки абразивно - изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки низкоуглеродисты низколегированные типа, аустенитные высокомарганцевые типа С, а также быстрорежущие стали типа F по классификации МИС [17]. Широкое применение нашли наплавочные карбидные сплавы типа Р, представляющие собой композиционные материалы, и состоящие из армирующих частиц карбидов вольфрама и матрицы. Они отличаются наивысшей износостойкостью в условиях абразивного износа [17]. Характерной особенностью процесса износа таких сплавов является поэтапный износ отдельных элементов композиции. При этом наблюдается так называемый теневой эффект, когда более износостойкие армирующие частицы берут на себя основную нагрузку от разрушающих сил, предохраняя матрицу сплава от износа. Таким образом, при равной износостойкости матрицы работоспособность композиционных сплавов определяется их химическим составом, концентрацией, износостойкостью и прочностью армирующих частиц [1]. Однако износостойкость матрицы может быть определяющим показателем при работе в условиях абразивного износа.

В данной работе проведены результаты исследования износостойкости и твердости наплавленного металла порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V и Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V.

Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались соответствующие порошкообразные материалы порошок железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ1415-93, порошок высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757-91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошок ферромолибдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759-91, порошок вольфрама марки ПВП-1, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721-79. В качестве углеродсодержащего компонента использовали ранее опробованный [18-21] углеродфторсодержащий материал (УФСМ) следующего химического состава, мас. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4-6,0$; $CaO = 0,7-2,3$; $Si_2O = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,1-0,18$.

Наплавку под флюсом АН-26С производили на образцах толщиной 16 мм из стали марки 09Г2С в 6 слоев. Процесс проводили проволокой Св-08ГА с использованием сварочного трактора АSAW-1250 при режимах: $I_{св} = 450A$; $U_d = 30 B$; $V_{св} = 10 м/ч$.

Измерение твердости проводилось с использованием твердомера МЕТ-УД. Осуществляли 5 измерений твердости на поверхности каждого образца. В таблице 1 представлены усредненные по пяти измерениям значения твердости наплавленного металла. Испытания на износостойкость производили на

машине 2070 СМТ – 1. Испытание на износ проводили по схеме вращающийся диск – образец. Диск наплавлен вольфрамовыми сплавами. Испытание проводили в течение 6 часов с частотой вращения -20 об/мин. До и после испытаний на износ образцы взвешивали и определяли разницу между начальной и конечной массой, а также, фиксировали количество оборотов диска. За величину износа принята потеря массы образца за один оборот диска.

Металлографический анализ образцов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 100 - 1000$. В качестве реактива для травления поверхности образцов использовали спиртовой раствор азотной кислоты. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778-70 при увеличении $\times 100$. Величину бывшего зерна аустенита определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$. Размер игл мартенсита определяли по ГОСТ 8233-56 при увеличении $\times 1000$.

Результаты испытаний на износ, измерения твердости и химический анализ образцов приведены в таблице 1.

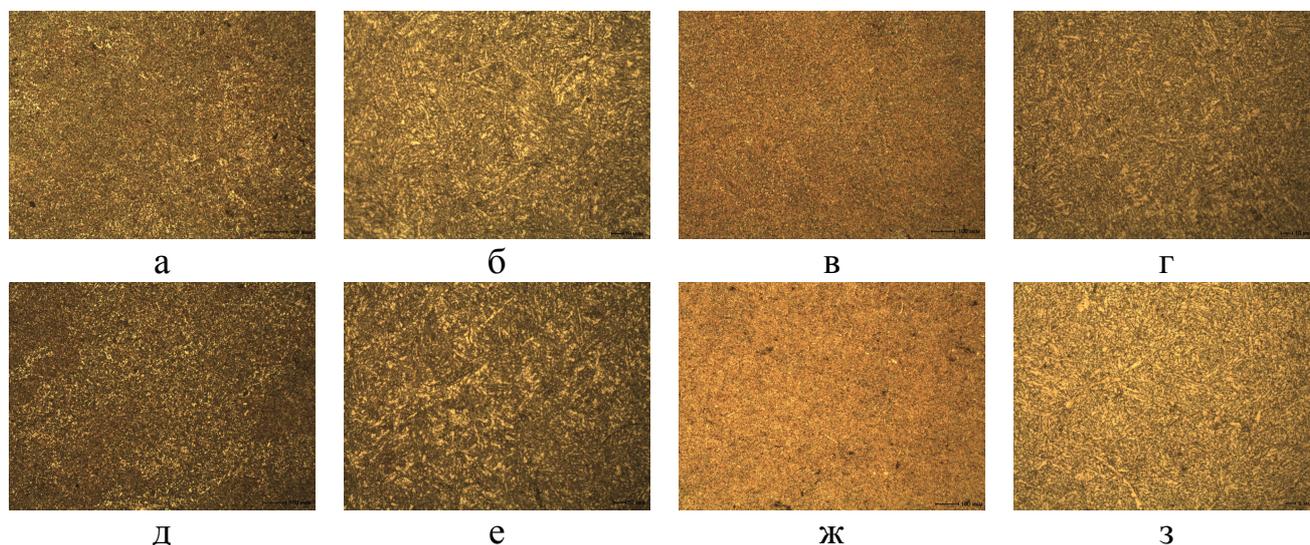
Таблица 1 – Химический состав, износ и твердость наплавленного металла

| Номер образца | Массовая доля элементов % | | | | | | | | Твердость образцов HRC | Износ образцов г/об.*10 ⁻⁴ |
|---------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|---------------------------------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | V | W | | |
| 1 | 0,23 | 0,12 | 0,85 | 1,45 | 0,53 | 0,51 | 0,68 | 0,08 | 25 | 1,65 |
| 2 | 0,21 | 0,23 | 0,89 | 1,45 | 0,54 | 0,55 | 0,54 | 0,03 | 21 | 1,15 |
| 3 | 0,17 | 0,18 | 0,85 | 1,40 | 0,52 | 0,54 | 0,63 | 0,05 | 21 | 1,11 |
| 4 | 0,17 | 0,28 | 0,91 | 1,32 | 0,45 | 0,46 | 0,59 | 0,06 | 21 | 1,12 |
| 5 | 0,15 | 0,20 | 0,79 | 0,08 | 0,56 | 0,25 | 0,51 | 3,38 | 17 | 1,15 |
| 6 | 0,14 | 0,17 | 0,75 | 0,07 | 0,5 | 0,13 | 0,47 | 2,57 | 16 | 4,08 |
| 7 | 0,14 | 0,26 | 0,78 | 0,09 | 0,55 | 0,68 | 0,56 | 2,88 | 16 | 1,70 |
| 8 | 0,12 | 0,21 | 0,71 | 0,07 | 0,52 | 0,5 | 0,44 | 2,43 | 15 | 1,79 |

Металлографический анализ металла наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V показал, что при содержании углерода 0,17-0,23 % и хрома в пределах 1,30 – 1,50 % (образцы № 1–4) в наплавленном слое образуется равномерная структура с мелкоигольчатым мартенситом (балл № 3) в бывших зернах аустенита, остаточным аустенитом, присутствующим в небольшом количестве в виде отдельных островков, и δ - ферритом в виде тонких прослоек по границам первичных зерен аустенита (рисунок 1). Размер игл мартенсита в структуре образцов находится в диапазоне 2-5 мкм (таблица 2). Величина бывшего зерна аустенита соответствует № 6.

Применение УФСМ в качестве углеродсодержащего компонента обеспечивает высокое металлургическое качество наплавленного металла. Загрязненность всех исследованных образцов неметаллическими включениями незначительна: установлено небольшое количество мелких неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (таблица 2).

Установлено, что содержание хрома в наплавленном слое в количестве 1,32–1,45 % препятствует росту зерна аустенита в процессе наплавки и, соответственно, способствует формированию структуры мелкоигльчатого мартенсита после охлаждения, что подтверждается лучшими показателями твердости и сопротивляемости износу в сравнении с образцами, наплавленными проволокой с повышенным содержанием вольфрама (табл. 1).



а, б – образец №1; в, г – образец №2; д, е – образец №3; ж, з – образец №4

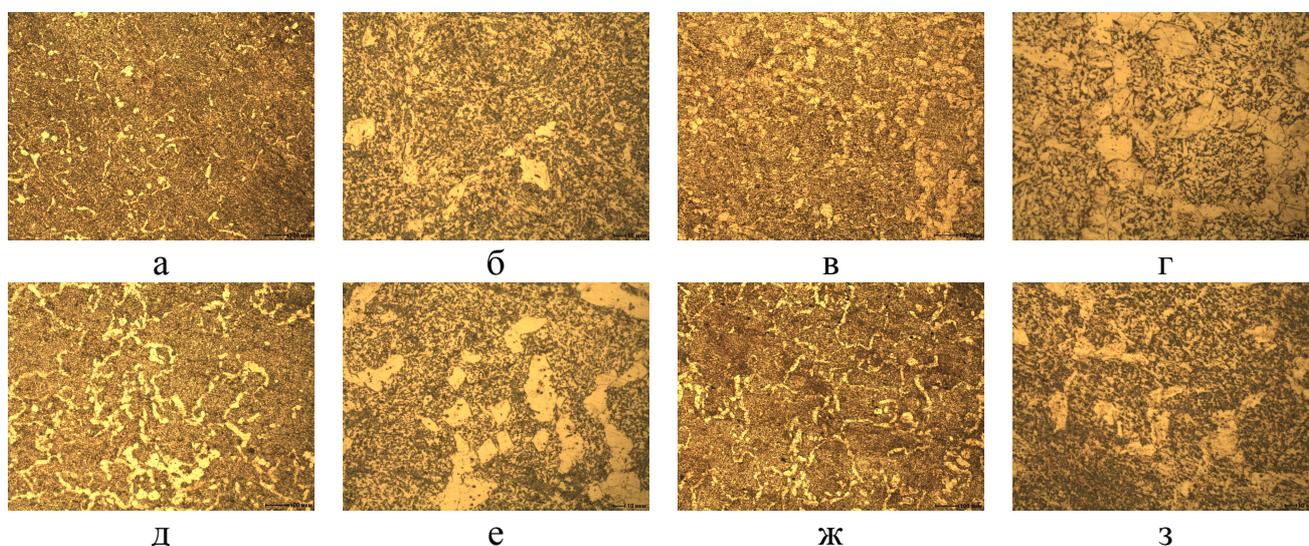
Рисунок 1 – Микроструктура наплавленного металла порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, (а, в, д, ж $\times 100$), (б, г, е, з $\times 500$)

Таблица 2 – Характеристики неметаллических включений и структуры исследованных образцов

| Номер образца | Загрязненность неметаллическими включениями, балл | | Величина зерна аустенита, балл | Размер игл мартенсита, мкм |
|---------------|---|----------------|--------------------------------|----------------------------|
| | силикаты недеформирующиеся (хрупкие) | оксиды точеные | | |
| 1 | 1б, 2б, 3а | 1 а | 6, 5 | 2-5 |
| 2 | 1б, 2б, 2а | 1 а, 2а | 6 | 2-4 |
| 3 | 1б, 2б, 3а | 1 а | 6 | 2-5 |
| 4 | 1б, 2б, 3а | 1 а | 6 | 2-4 |
| 5 | 2б, 1б, 2а | 1а | 4, 5 | - |
| 6 | 2б, 1б, 2а | 1а | 4, 5 | - |
| 7 | 1б, 2б, 2а | 1 а | 4 | - |
| 8 | 2б, 3б | 1 а | 4 | - |

Металлографический анализ металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V показал, что введение вольфрама в количестве 2,43–3,38 % при уменьшении содержания углерода и хрома до 0,12–0,15 % и 0,07–0,09 % соответственно приводит к образованию в наплавленном слое феррито-перлитной структуры (рисунок 2).

Образцы № 4–8 имеют феррито-перлитную структуру с размером бывшего зерна аустенита №4, №5. Кроме того, в структуре в большом количестве присутствует остаточный аустенит, располагающийся по границам перлитных колоний. Отмечено также наличие мелкодисперсных темных включений по границам колоний перлита, что характерно для карбидов вольфрама. Указанные структурные изменения обуславливают снижение твердости и износостойкости наплавленного металла (таблица 2).



а, б – образец №5; в, г – образец №6; д, е – образец №7; ж, з – образец №8

Рисунок 2 – Микроструктура наплавленного металла порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V, (а, в, д, ж $\times 100$), (б, г, е, з $\times 500$)

Таким образом, установлено, что, несмотря на наличие карбидов вольфрама в феррито-перлитной структуре образцов, наплавленных низкоуглеродистой порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V, предпочтительней для наплавки деталей и механизмов оборудования, работающего при абразивном изнашивании, является порошковая проволока системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V. По-видимому, феррито-перлитная матрица недостаточно хорошо противодействует абразивному износу по причине меньшей твердости, а образовавшиеся карбиды вольфрама не могут в полной мере обеспечить износостойкость, поскольку им необходима более твердая матрица для прочного сцепления. В связи с этим следует вывод, что феррито-перлитная структура не является приемлемой для внедрения в нее карбидов вольфрама с целью увеличения износостойкости.

Выводы:

Установлено, что использование для наплавки низкоуглеродистых экономнолегированных порошковых проволок систем Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V и Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V с применением в качестве углеродсодержащего компонента УФСМ обеспечивает формирование наплавленных слоев с малой степенью загрязненности неметаллическими включениями.

Использование для наплавки порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V приводит к формированию в наплавленном слое равномерной структуры мелкоигльчатого мартенсита с тонкими прослойками δ -феррита и остаточного аустенита, что обеспечивает твердость и износостойкость, достаточные для эксплуатации деталей горного оборудования.

Использование для наплавки порошковой проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V приводит к образованию наплавленных слоев, имеющих более низкое содержание углерода и хрома, но повышенное содержание вольфрама, вследствие чего образуется не мартенситная, а феррито-перлитная структура с частицами карбидов вольфрама, не обеспечивающая требуемого уровня твердости и износостойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И. Белый. Износостойкость и прочность карбидов вольфрама WC – W₂C, полученных различными способами / Автоматическая сварка, -2010. – №12. – С. 20-23.
2. Y. V. Poletaev & A. S. Zubchenko. Structure and properties of welded joints in chromium-manganese steels / Welding International. 1988. – Vol. 2. – P. 452-455.
3. K.C. Barker & A. Ball. Synergistic abrasive—corrosive wear of chromium containing steels / British Corrosion Journal. 1989. – Vol. 24. – P. 222-228.
4. I. El-Mahallawi, R. Abdel-karim & A. Naguib. Evaluation of effect of chromium on wear performance of high manganese steel / Materials Science and Technology. 2001. – Vol. 17. – P. 1385-1390.
5. S. Mizoguchi. Multilayer Submerged Arc Surfacing With High Chromium Iron Alloy / S. Mizoguchi, T. Tanigaki, M. Tokura, H. Koike & H. Nishimura // Surfaced Engineering. 1987. – Vol. 3. – P. 313-320.
6. A. Molinari, G. Straffelini & P. Campestrini. Influence of microstructure on impact and wear behaviour of sintered Cr and Mo steel / Powder metallurgy. 1999. – Vol. 42. – P. 235-241.
7. Z. Rao. Wear behaviour of carbon implanted hard chromium coatings / Z. Rao, B. H. O'Connor, D. K. Sood & J. S. Williams // Surface Engineering. 1997. – Vol. 13. – P. 61-65.
8. D. S. Liu, R. P. Liu & Y. H. Wei. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy / Material Science and Technology. 2014. – Vol. 30. – P. 316-322.

9. New materials for welding and surfacing/ N A Kozyrev, G V Galevsky, R E Kryukov, D A Titov, V M Shurupov//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 150 (2016) 012031- pages 1-8 | doi:10.1088/1757-899X/150/1/012031.

10. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF/ A I Gusev, N V Kibko, N A Kozyrev, M V Popova, I V Osetkovsky// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 150 (2016) 012033- pages 1-9| doi:10.1088/1757-899X/150/1/012033

11. Influence of Filler Metals in Welding Wires on the Phase and Chemical Composition of Weld Metal/ N A Kozyrev, I V Osetkovskiy, O A Kozyreva, E A Zernin and D S Kartsev//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 125(2016) - pages 1-7: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions 26–28 November 2015, Yurga,Russia|doi:10.1088/1757-899X/125/1/01/012027.

12. On Quality of a Weld Bead Using Power Wire 35v9h3sf /N A Kozyrev, G V Galevskiy, D A Titov, D E Kolmogorov and D E Gusarov //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 125(2016) - pages 1-8: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions 26–28 November 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/125/1/01/012028.

13. Y F Jiang. Effects of iron ion contents on composition, morphology, structure and properties of chromium coatings electrodeposited from novel trivalent chromium sulphate electrolyte / Y F Jiang, F Z Yang, Z Q Tian & S M Zhou // Transaction Of The IMF. 2012. – Vol. 19. – P. 86-91.

14. L. C. Casteletti. Hard chromium substitution using HVOF coatings / L. C. Casteletti, Rafael Nucci, Lombardi A. Neto, E. A. B. Arnoni & G. E. Totten // International Heat Treatment And Surface Engineering. 2008. – Vol. 2. – P. 27-31.

15. Alejandro Basso , Sebastian Laino & Ricardo C. Dommarco. Wear Behavior of Carbide Ductile Iron with Different Matrices and Carbide Distribution / Tribology Transactions. 2013. – Vol. 56. – P. 33-40.

16. X. D. Du. Microstructure and wear behaviour of WC-steel composite cladding / X D Du, Y F Wang, K Wang & D R Xu // Materials Technology. 2011. – Vol. 26. – P. 90-95.

17. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974 – 768с.

18. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования С-Si-Mn-Cr-V-Mo и С-Si-Mn-Cr-W-V/ Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А.// Бюллетень «Черная металлургия» - 2016.- № 4. -С. 74-78.

19. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик наплавленного металла/ Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А.// Производство проката -2016.- № 5. -С. 43-47.

20. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А., Никитин А.Г. / Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo для наплавки прокатных валков// Известия вузов. Черная металлургия. – 2016. – т. 59. – № 10. – С. 727-733.

21. Козырев Н.А., Кибко Н.В., Уманский А.А., Титов Д.А., Бащенко Л.П. / Совершенствование состава порошковых проволок системы С – Si – Mn – Cr – W – V с целью повышения качества и эксплуатационных характеристик наплавленного слоя// Известия вузов. Черная металлургия. – 2016. -- т. 59. № 11. – С. 806-813.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.
Отделение металлургии**

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 22.09.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 13,5 Уч.-изд.л. 14,4 Тираж 300 экз. Заказ № 447

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ