

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. Темлянцев (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; Темлянцев 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; Спирин 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

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2017

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 острых 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	117
<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.....	163
<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.....	175
<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	197
<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. Перетяцько, 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. Перетяцько, 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

Если взять коэффициент 1,125 в кинетическом члене, который вытекает из приближения ПЭП, то значение $r_{\text{кор}}$ точно совпадет с формульной величиной $r_{\text{кор}} = 0,1448r^2$ [1, формула (23)].

В работе выведены формулы для расчета энергии корреляции электронов $1s^2$ -геминиали. При переходе к высшим квантовым состояниям с $n > 1$ во все исходные выражения необходимо подставить значение радиуса атомной сферы

$$r = \frac{1,5\pi^2}{Z^*},$$

которое вытекает из приближения постоянной электронной плотности.

Выводы: модель постоянной электронной плотности для атомных систем позволяет провести расчет электронной корреляции. Результаты расчета корреляционной энергии соответствуют результатам других исследований и экспериментальным данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селянин И.Ф., Шакиров К.М., Деев В.Б. и др. Корреляционная поправка первого порядка в модели постоянной электронной плотности // Изв. вузов. Черная металлургия. 2004. № 2. С. 3–7.
2. Марч Н., Янг У., Сампатхар С. Проблема многих тел в квантовой механике. – М.: Мир, 1969. – 496 с.
3. Цюлике Л. Квантовая химия. Т. 1. М.: Мир, 1976. – 512 с.

УДК 519.237: 669.018.25

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

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

СВОЙСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co

В лабораторных условиях изготовлены образцы порошковых проволок системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co, изучено влияние введения в шихту наплавочной проволоки вольфрама и хрома. Проведены металлографические исследования наплавленного металла: оценена микроструктура, величина зерна, загрязнен-

ность оксидными неметаллическими включениями. Определена твердость и скорость истирания наплавленного валика. Проведена оценка влияния химического состава на износ и твердость наплавленного металла.

Produced samples of powder wires system Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co, the influence of introduction of batch surfacing wire of tungsten and chromium. Held metallographic weld metal: evaluated microstructure, grain, non-metallic inclusions of oxide contamination. Defined hardness and abrasion speed weld bead. The estimation of influence of chemical composition on wear and hardness of weld deposited metal.

Механизмы машин горнорудного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя и требуют восстановления. Поэтому разработка материалов повышающих износостойкость таких механизмов и деталей, а так же разработка технологий их восстановления является важной задачей. Наиболее перспективным направлением является наплавка порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведётся разработка, изготовление и использование специальных наплавочных порошковых проволок [1-6]. Благодаря оптимально подобранному способу легирования наплавленные покрытия обладают высокими значениями твёрдости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости. В настоящее время в нашей стране широко используются порошковые проволоки системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок OK Tubrodur 15.52, OK Tubrodur 58 O/G M.

Данная работа продолжает начатые исследования по разработке новых составов порошковых проволок работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [7-9], в частности изучение влияния введения в систему Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co вольфрама и хрома на степень износа и твердость наплавленного слоя.

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 углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759-91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721-79, в качестве углеродсодержащего компонента использовали углеродофторсодержащий порошок со следующим химическим составом компонентов, мас. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; F = 18-

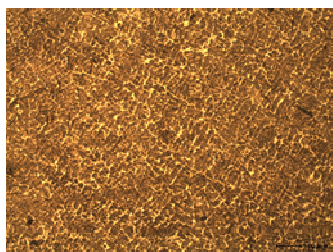
27; Na_2O = 8-15; K_2O = 0,4-6; CaO = 0,7-2,3; SiO_2 = 0,5-2,48; Fe_2O_3 = 2,1-3,27; $\text{C}_{\text{общ}}$ = 12,5-30,2; MnO = 0,07-0,9; MgO = 0,06-0,9; S = 0,09-0,19; P = 0,1-0,18.

Наплавку изготовленной проволокой производили под флюсом АН-26С, на пластины из стали марки Ст3 в 6 слоев (для исключения перемешивания наплавляемого металла с подложкой), при помощи сварочного трактора АСАВ-1250, с режимом наплавки: $I=450$ А, $U=30$ В, $V=10$ м/ч. Далее пластины разрезались на соответствующие образцы для испытаний. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли по ГОСТ 10543–98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Химический состав наплавленных слоев с использованием порошковых проволок приведен в таблице 1. Твёрдость изучаемых образцов измерялась с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Испытания на износостойкость производили на машине 2070 СМТ–1. Испытания проводились на режимах: нагрузка 30 мА, частота 20 об/мин. Изучение микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 100$ -1000 после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$. Размер игл мартенсита определяли по ГОСТ 8233-56 при увеличении $\times 1000$. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778-70 при увеличении $\times 100$. Структура образца №1Г9 (рисунок 1 а, б) представляет собой крупноигльчатый мартенсит (балл 7) в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ -феррита. Размер игл мартенсита – 3-14 мкм. Наплавленный слой характеризуется четко выраженной дендритной структурой. Величина зерна аустенита по шкале зернистости соответствует №6 и 7. По телу и границам зерен распределены точечные дисперсные включения. Структура образца №2Г10 (рисунок 1 в, г) представляет собой мелкоигльчатый и среднеигльчатый мартенсит (балл 4, 5) в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ -феррита. Размер игл мартенсита – 3-6 мкм. Наплавленный слой характеризуется четко выраженной дендритной структурой. Величина зерна аустенита по шкале зернистости №6 и 7. По телу и границам зерен распределены точечные дисперсные включения.

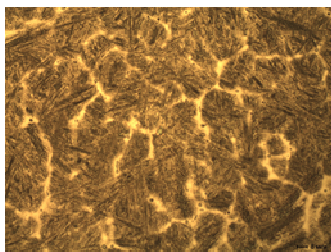
Структура образца №3Г11 (рисунок 1 д, е) представляет собой крупноигльчатый мартенсит (балл 7), формирующийся внутри четко выраженных границ первичного аустенитного зерна. По границам первичных зерен аустенита находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ -феррита. Размер игл мартенсита – 8-12 мкм. Наплавленный слой характеризуется четко выраженной дендритной структурой.

Таблица 1 –Химический состав, содержание водорода, износ и твердость наплавленных слоев

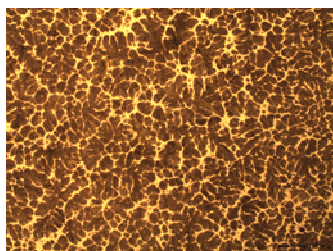
Номер образца	Массовая доля элементов %														Твердость образцов, HRC	Износ об- разцов г/об.
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Co	W	Al	Cu	Ti	S	P		
1 Г9	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,02	0,05	0,002	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024	44,5	0,000071
2 Г10	0,19	0,63	0,65	4,06	0,3	0,38	0,03	0,06	0,001	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019	43	0,000039
3 Г11	0,2	0,59	0,61	4,12	0,3	0,38	0,02	0,12	0,001	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019	46	0,000044
4 Г12	0,2	0,64	0,6	4,03	0,3	0,39	0,03	0,2	0,002	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021	30	0,000073
5 Г13	0,2	0,59	0,56	0,01	0,3	0,33	0,01	0,05	7,74	0,01	0,1	0,02	0,072	0,017	22	0,000206
6 Г14	0,2	0,55	0,49	0,01	0,26	0,34	0,01	0,07	7,42	0,02	0,09	0,02	0,048	0,014	25	0,000048
7 Г15	0,2	0,58	0,52	0,01	0,28	0,34	0,01	0,07	7,55	0,05	0,09	0,03	0,038	0,014	21	0,000039
8 Г16	0,21	0,55	0,52	0,01	0,27	0,35	0,02	0,06	7,65	0,05	0,08	0,02	0,036	0,017	25	0,000036



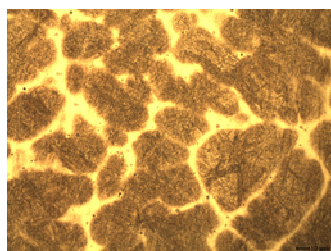
а



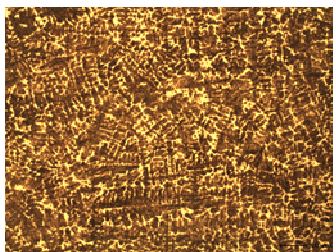
б



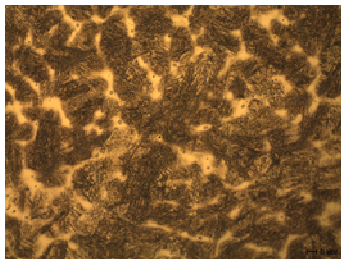
в



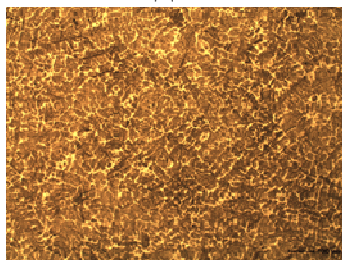
г



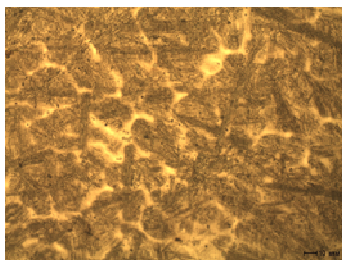
д



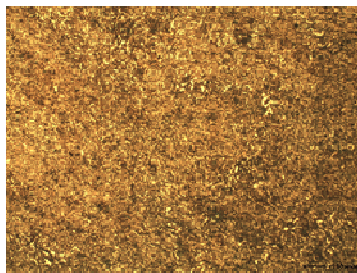
е



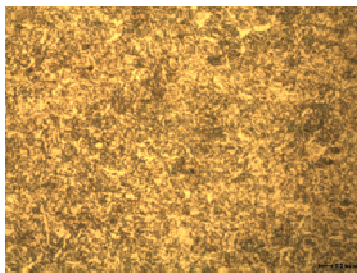
ж



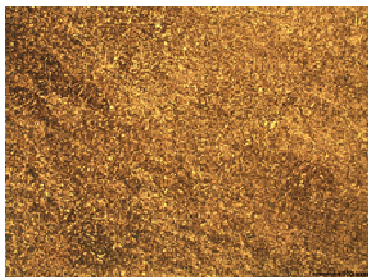
з



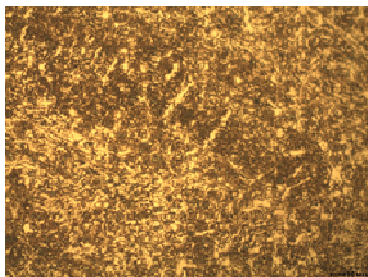
и



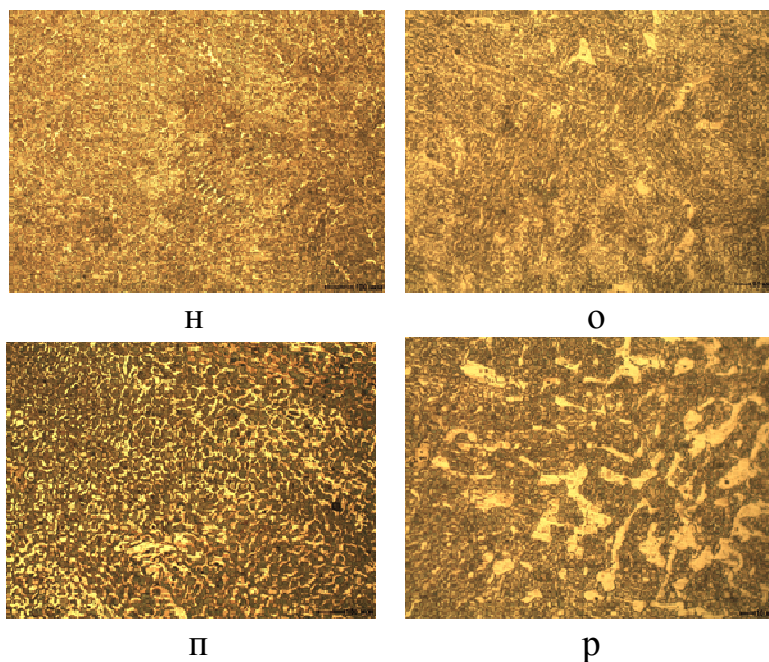
к



л



м



а, б - №1Г9; в, г - №2Г10; д, е - №3Г11; ж, з - №4Г12; и, к - №5Г13;
л, м - 6Г14; н, о - 7Г15; п, р - 8Г16

Рисунок 1 – Микроструктура исследуемых образцов, (а, в, д, ж, и, л, н, п $\times 100$), (б, г, е, з, к, м, о, р $\times 500$)

рой. Величина зерна аустенита по шкале зернистости №6 и 7. По границам и телу зерен распределены точечные дисперсные включения.

Структура образца №4Г12 (рисунок 1 ж, з) представляет собой крупно-игольчатый мартенсит (балл 7) в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ -феррита. Размер игл мартенсита – 3-11 мкм. Наплавленный слой характеризуется четко выраженной дендритной структурой. Величина зерна аустенита по шкале зернистости №7, 6. По границам и телу зерен распределены точечные дисперсные включения.

В структуре образца №5Г13 (рисунок 1 и, к) наблюдается феррит и перлит. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости №5, 6. По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения.

Образец №6Г14 (рисунок 1 л, м) имеет феррито-перлитную структуру. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости № 6.

По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения.

В структуре образца №7Г15 (рисунок 1 н, о) наблюдается феррит, перлит. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости № 5.

По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения.

Образец №8Г16 (рисунок 1 п, р) имеет феррито-перлитную структуру. Величина бывшего зерна аустенита по шкале зернистости № 6. По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения. Влияние концентрации хрома и вольфрама на твердость приведены на рисунках 2 и 3. Несмотря на введение в состав образцов 5Г13-8Г16 вольфрама, износостойкость образцов predetermined структурой наплавленного металла. Износостойкость образ-

цов 1Г9-4Г12 выше в связи с тем, что они имеют мартенситную структуру, а образцы 5Г13-8Г16 феррито-перлитную.

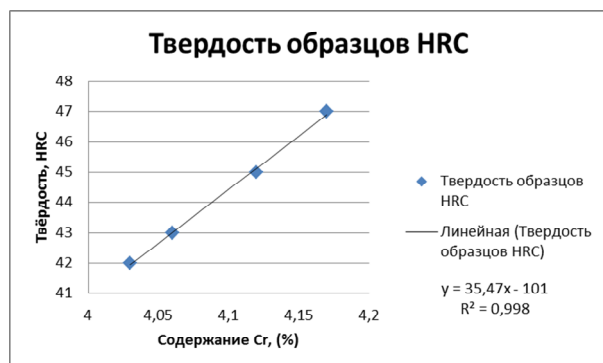


Рисунок 2 – Твёрдость образцов №1Г9-4Г12

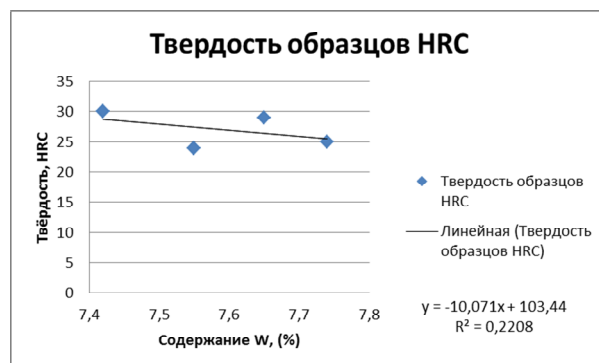


Рисунок 3 – Твёрдость образцов №5Г13-8Г16

В результате оценки загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики неметаллических включений и структуры

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, балл	Размер игл мартенсита, мкм
	силикаты недеформирующиеся (хрупкие)	оксиды точечные		
1Г9	1б, 2а	1а	7	3-14
2Г10	2б, 1б, 2а, 3а	1а, 2а	6, 7	3-6
3Г11	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6, 7	8-12
4Г12	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	7, 6	3-11
5Г13	1б, 2б, 2, 5а	1а	5, 6	-
6Г14	1б, 2б, 4б	1а	6	-
7Г15	1б, 2б, 3б	1а	5	-
8Г16	2б, 4б	1а, 2а	6	-

Выводы:

1. Введение в систему Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co хрома приводит к формированию в наплавленном слое мартенситной структуры, с тонкими прослойками δ-феррита, что обеспечивает требуемые для эксплуатации деталей, работающих в условиях абразивного износа, твердость и износостойкость.

2. Введение в систему Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co вольфрама и практически отсутствие в ней хрома приводит к образованию в наплавленном слое

феррито-перлитной с частицами карбидов вольфрама, при этом не обеспечивается требуемый уровень твердости и износостойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kirchgaßner M, Badisch E, Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. / *Wear Journal*. 2008. – Vol.265. –P. 772–779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase deposits against abrasion. \ *Weld International*. 2009. – Vol.23. – P. 706–716.
3. Klimpel A. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits. / Klimpel A, Dobrzanski LA, Janicki D, Lisiecki A. // *Materials Processing Technology*. 2005. – Vol.164 – 165. – P. 1056–1061.
4. Wang Q, Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys. / *Welding*. 2010. - Vol 89. – P. 133–139.
5. Metlitskii V.A. [Flux-cored](#) wires for arc welding [and](#) surfacing [of cast iron](#) / *Welding International*. 2008. – Vol 22. – P. 796-800.
6. [R. Kejžar & J. Grum. Hardfacing of Wear-Resistant Deposits by MAG Welding with a Flux-Cored Wire Having Graphite in Its Filling](#) \ *Welding International*. 2005. – Vol 20. – P. 961-976.
7. Гусев А.И. Изучение свойств металла наплавленного порошковой проволокой системы С-Mn-Si-Cr-V-Mo-Co / Гусев А.И., Осетковский И.В. // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи в 2-х томах. Том 1. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 91-94.
8. 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
9. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40ХЗГ2МФ / Гусев А. И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. - Вып.36.- Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016 – С. 174-181.

**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