

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 3 (26) 2018

Журнал входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

**Редакционный совет
Председатель ред. совета:**

В.А. Бигеев - проф., д-р техн. наук ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

В.М. Салганик – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

А.А. Казаков – д-р техн. наук, проф. ФГАОУ ВО «СПбПУ»

Члены ред. совета:

К.Н. Вдовин – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

С.В. Денисов – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

А.Н. Емелюшин – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

В.М. Колокольцев – президент ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», д-р техн. наук, проф.;

А.А. Попов – д-р техн. наук, проф. ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»;

О.Ю. Шешуков – д-р техн. наук, проф. ГУ ИМетРАН, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Главный редактор:

А.С. Савинов – директор института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», д-р техн. наук.

З. Конопка – д-р техн. наук, проф. Ченстоховского технологического университета, Польша;

Научный редактор:

Н.Ш. Тютеряков – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

О. Островский – д-р техн. наук, проф. UNSW, Австралия;

А.М. Песин – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

И.Е. Илларионов – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»;

Технический редактор:

Ю.А. Извеков – проф., канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

У.И. Лужбина

Дизайнер:

Е.О. Харченко

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2018

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38).

16+, в соответствии с Федеральным законом № 436-ФЗ от 29.12.10.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 29-84-64.

E-mail: TTAPEOMP@mail.ru; ttmp@mail.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ им. Г. И.Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Выход в свет: Заказ. Тираж 500 экз.

Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 3 (26) 2018

The journal is incorporated into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI)

Editorial Board Members

Chairman:

V.A. Bigeev - D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Honorary Board Members:

K.N. Vdovin – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

S.V. Denisov – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

A.N. Emelyushin – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

V.M. Kolokoltsev – D. Sc., Professor,
President of Nosov Magnitogorsk State Technical
University

Z. Konopka – D.Sc., Professor,
Czestochowa University of Technology, Poland

O. Ostrowski – D.Sc., Professor,

University of New South Wales, Australia

A.M. Pesin – D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

A.A. Popov – D.Sc., Professor,
Institution of Higher Professional Education
«Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N.Yeltsin»

I.Y. Illarionov – D.Sc., Professor,
Chuvash State University

V.M. Salganik – D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

A.A. Kazakov - D.Sc., Associate Professor,
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

O. Ju. Sheshukov – D.Sc., Professor, alloys
Federal State Autonomous Educational Institution of
Higher Professional Education «Ural Federal
University named after the first President of Russia
B.N.Yeltsin»

Editor-in-Chief:

A.S. Savinov – Director of Metallurgy Mechanical Engi-
neering and Materials Processing Institute D.Sc., Nosov
Magnitogorsk State
Technical University

Scientific Editor:

N.S. Tyteriakov – Ph.D., Nosov Magnitogorsk State
Technical University

Technical Editor:

Y.A. Izvekov – Professor, Ph.D., Nosov Magnitogorsk
State Technical University

U.I. Luzhbina

Designer:

E.O. Harchenko

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2018

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region.)

16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

Editorial office:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 29-84-64.

E-mail: TTAPEoMP@mail.ru; ttmp@mail.ru

Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Printed by the NMSTU printing section,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.
Publication date: Order. Circulation: 500. Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	4
Куряев Д.В., Никитенко О.А.	
ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ.....	4
Ефимов А.В.	
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК	8
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.....	12
Бигеев В.А., Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Панишев Н.В., Потапова М.В., Лунев У.Д.	
ПРОМЫВКА ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ КРЕМНЕЗЕМО-МАРГАНЦОВИСТОЙ РУДОЙ НИЯЗГУЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	12
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р.	
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОД- ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК	17
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	26
Вдовин К.Н., Данилюк К.А., Ячиков И.М.	
МОДИФИЦИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ	26
Илларионов И.Е., Гильманшина Т.Р., Ковалева А.А., Лыткина С.И., Худоногов С.А.	
ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО ГРАФИТА, ПРОШЕДШЕГО ХИМИЧЕСКУЮ И ХИМИКО- МЕХАНИЧЕСКУЮ АКТИВАЦИЮ	30

CONTENTS

METALS SCIENCE AND THERMAL TREATMENT OF METALS AND ALLOYS.....	4
Kuryaev D.V., Nikitenko O.A.	
EFFECT OF NITROGEN ON OPERATING PROPERTIES OF THE ALLOYED IRON OF THE ROLL'S SKIN LAYER.....	4
Efimov A.V.	
THE IMPACT OF EXTERNAL INFLUENCES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL CASTINGS.....	8
METALLURGY OF BLACK, COLOR AND RARE METALS.....	12
Bigejev V.A., Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Pani- shev N.V., Potapova M.V., Lunev U.D.	
WASHING THE HEARTH OF BLAST- FURNACE WITH SILICONE-MANGANESE ORE OF NIYAZGULOV DEPOSIT.....	12
Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Usoltsev A.A., Mikhno A.R.	
DEVELOPMENT OF NEW WELDING GUMBOILS WITH THE USE CARBONFLUORINE OF ADDITIONS.....	17
FOUNDRY	26
Vdovin K.N., Daniluk K.A., Yachikov I.M.	
MODIFYING OF METAL AT CENTRIFUGAL CASTING.....	26
Illarionov I.E., Gilmashina T.R., Kovaleva A.A., Lytkina S.I., Khudonogov S.A.	
RESEARCH ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FOUNDRY GRAPHITE PAST CHEMICAL AND CHEMICAL-MECHANICAL ACTIVATION.....	30

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 621.771

Куряев Д.В., Никитенко О.А.

ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Аннотация. В статье рассмотрено совместное влияние легирования чугуна рабочего слоя двухслойного вала ванадием и азотом. Приведены экспериментальные результаты изменения коэффициента абразивной и ударно-абразивной износостойкости в зависимости от количества лигатуры. Установлен вклад азота на изменение основных эксплуатационных свойств чугуна рабочего слоя прокатного вала. Рекомендованы наиболее рациональные концентрации ванадия в зависимости от преобладающего характера износа.

Ключевые слова: прокатный валок, износ, ванадий, азот.

Введение

Эксплуатационные характеристики двухслойных прокатных валков ЛПХНд определяются в основном двумя составляющими. Первая из которых - абразивная износостойкость, а вторая – ударно-абразивная износостойкость. Это обусловлено тем, что износ вала происходит в результате трения поверхности бочки вала о поверхность прокатываемой полосы, при этом в зону контакта возможно попадание инородных абразивных частиц, к которым относятся частицы окалины, пыль и т.д. В то же время на рабочую поверхность вала может оказываться значительная ударная нагрузка, связанная с технологическими особенностями процесса прокатки металла. Соотношение влияния того или иного способа изнашивания зависит от параметров прокатки и марочного состава прокатываемой стали и качества вала.

Одним из возможных путей повышения эксплуатационных свойств прокатного вала

является дополнительное легирование материала, из которого изготавливается рабочий слой. Для этого возможно применение азотированной лигатуры, в том числе феррованадия [1 - 6].

Целью работы является исследование абразивной и ударно-абразивной износостойкости индифинитного чугуна, легированного азотированным феррованадием.

Материал и методика экспериментов

В результате эксперимента были получены две серии образцов. Первая партия была легирована ванадием, содержание которого в образцах менялось с 0,08 до 0,50 %. Вторую серию образцов легировалась азотированным феррованадием марки ФВ35Н9, химический состав которого приведен в табл. 1.

Содержание ванадия в образцах изменяли от 0,08 до 0,50 %. Для корректного построения зависимостей был выплавлен «базовый» сплав с содержанием ванадия менее 0,05 % (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав азотированного феррованадия марки ФВ35Н9

Элемент	N	V	Si	Mn	S	P	C	Al	Ti	Ca
Массовая доля, %	7,6	40,4	8,2	2,3	0,04	0,04	0,34	0,01	0,03	0,03

Таблица 2

Химический состав «базового» образца

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Al
Массовая доля, %	3,05	0,93	0,87	0,021	0,049	1,80	4,46	0,03	0,03

Выплавку экспериментальных образцов производили в индукционной печи с основной футеровкой ёмкостью 2 кг. Размер экспериментальных образцов: 35*35*10 мм. Износостойкость сплавов изучали по ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы». Ударно-абразивную износостойкость исследуемых сплавов изучали по ГОСТ 23.207 – 79 «Метод испытаний машиностроительных материалов на ударно-абразивное изнашивание».

Полученные результаты и их обсуждение

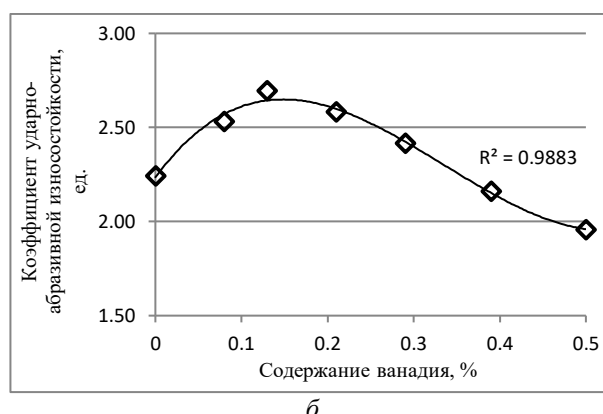
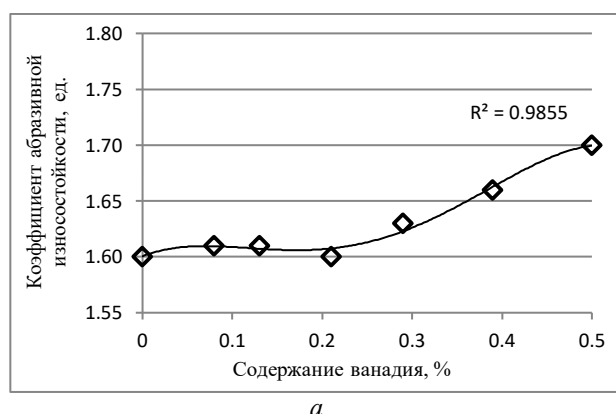


Рис. 1. Зависимость коэффициента абразивной (а) и ударно-абразивной (б) износостойкости чугуна рабочего слоя прокатного вала от содержания в сплаве ванадия

Уже введение небольшого количества ванадия в состав чугуна рабочего слоя вала приводит к значительному росту ударно-абразивной износостойкости. Максимальное же значение коэффициента ударно-абразивной износостойкости достигается при введении в сплав ванадия в количестве 0,1–0,2 %. При введении его более чем 0,2 % начинается снижение ударно-абразивной износостойкости и при содержании 0,3 % значение становится равным «базовому» составу. При содержании ванадия более 0,3 % ударно-абразивная износостойкость чугуна рабочего слоя прокатного вала становится меньше «базового» сплава, и чем оно выше, тем ниже коэффициент. Так, при содержании ванадия 0,5 % коэффициент ударно-абразивной износостойкости становится ниже 2 ед.

Такое изменение значения коэффициентов абразивной и ударно-абразивной износостойкости можно объяснить формированием в структуре чугуна рабочего слоя карбидов, легированных ванадием. При содержании в сплаве ванадия более 0,2 % происходит выделение легированных карбидов, повышающих абразивную износостойкость сплава, при этом количество этих карбидов увеличивается с повышением концентрации ванадия в сплаве. При содержании

Легирование ванадием

При концентрации ванадия в сплаве до 0,2 % коэффициент абразивной износостойкости не меняется и остается равным $1,60 \geq 1,62$ ед. Увеличение концентрации ванадия в сплаве более 0,2 % приводит к росту износостойкости до 1,7 ед. при увеличении содержания в сплаве ванадия до 0,5 % (рис. 1, а).

В отличие от абразивной износостойкости характер изменения коэффициента ударно-абразивной износостойкости имеет экстремальную зависимость от содержания в сплаве ванадия (рис. 1, б).

ванадия в сплаве менее 0,2 % не происходит выделения специальных карбидов, а ванадий входит в состав эвтектических карбидов, повышая их стойкость к выкрошиванию, что увеличивает ударно-абразивную износостойкость сплава.

Легирование ванадием и азотом

Для исследования влияния азота на эксплуатационные характеристики чугуна рабочего слоя прокатных валков исследовали экспериментальные образцы с соответствующим содержанием ванадия, дополнительно легированные азотом. Именно одинаковое содержание ванадия позволит оценить вклад азота на изменение эксплуатационных свойств чугуна рабочего слоя прокатного вала и определить целесообразность использования азотированного феррованадия.

Абразивная износостойкость чугуна рабочего слоя прокатного вала, дополнительно легированного азотом, практически не меняется в зависимости от степени легирования, а значение самого коэффициента соответствует «базовому». Такой характер справедлив при содержании ванадия в сплаве от 0,13 % (рис. 2, а). Однако введение меньшего количества лигатуры, когда содержание ванадия в образцах менее 0,1 %,

приводит к резкому увеличению коэффициента абразивной износостойкости до 1,76 ед. Износостойкость такого сплава оказывается выше, чем «базового» и легированного только ванадием.

Изменение коэффициента ударно-абразивной износостойкости у сплавов, дополнительно легированных азотом, по сравнению со сплавами, легированными только ванадием, происходит равномерно в сторону увеличения износостойкости

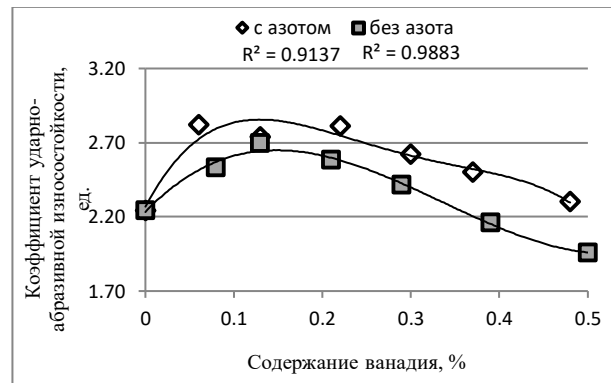
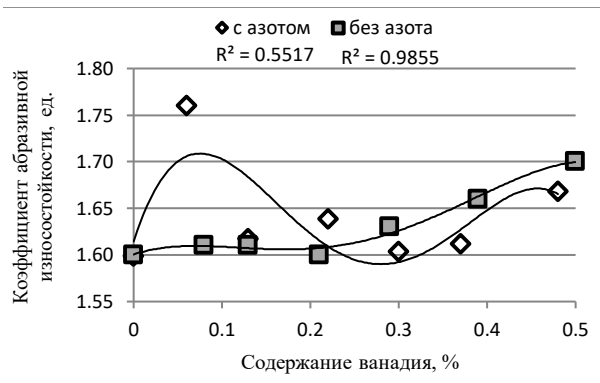


Рис. 2. Зависимость коэффициента абразивной (а) и ударно-абразивной (б) износостойкости чугуна рабочего слоя прокатного валка от наличия в сплаве азота и содержания ванадия

Выводы

При легировании чугуна рабочего слоя прокатного валка только ванадием меняются его коэффициенты абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Если преобладает абразивный износ, то количество ванадия должно быть более 0,3 %, так как в интервале концентраций ванадия от 0,3 до 0,5 % происходит увеличение коэффициента абразивной износостойкости на 6 %. Если основным видом износа является ударно-абразивный, то концентрация ванадия должна быть ограничена интервалом 0,1–0,2 %, при которой формируется структура с максимальным коэффициентом ударно-абразивной износостойкости.

В случае отсутствия ярко выраженного одного вида износа концентрацию ванадия целесообразно ограничить интервалом 0,1–0,3 %. При этом формируется комплекс свойств сплава, который может работать в условиях как абразивного, так и ударно-абразивного износа, а его эксплуатационные свойства будут выше, чем у «базового» сплава.

Если в качестве легирующего комплекса применяется азотированный феррованадий, то наиболее рационально ограничить содержание ванадия в чугуне рабочего слоя прокатного валка от 0,05 до 0,10 %. При этом формируется структура, которая обладает одновременно повышенной абразивной и ударно-абразивной износостойкостью по сравнению с «базовым» сплавом и сплавом, легированным только ванадием, при

на 10 % во всем диапазоне изменения концентрации ванадия (рис. 2, б).

Так же как и в чугуне рабочего слоя, легированного только ванадием, максимальная износостойкость сплава, легированного азотированным феррованадием, приходится на интервал концентрации ванадия от 0,05 до 0,20 %.

соответствующих концентрациях легирующего элемента.

Список литературы

1. Вдовин К.Н., Зайцева А.А., Феоктистов Н.А. Исследование свойств и структуры валкового чугуна, модифицированного бором // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2017. № 6 (744). С. 3-9.
2. Vdovin K.N., Zaitseva A.A., Feoktistov N.A. Research of properties and structure of boron-modified roll-foundry iron // *Journal of Materials Science Research*. 2016. ol. 5, № 2. P. 88-99.
3. Влияние химического состава и условий охлаждения на микроструктуру и свойства белых легированных чугунов / В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин, Е.В. Сеницкий, С.Ю. Волков // *Металлург*. 2014. № 4. С. 71-74.
4. Факторы, влияющие на формирование рабочего слоя листового прокатного валка / К.Н. Вдовин, А.А. Зайцева, Н.А. Феоктистов, М.В. Антонов // *Механическое оборудование металлургических заводов*. 2014. № 3. С. 173-181.
5. Вдовин К.Н. Прокатные валки: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. 443 с.
6. Vdovin K.N., Gorlenko D.A., Zavalishin A.N. Structure changes of chromium-nickel indefinite

cast irons in heating // Вестник
Магнитогорского государственного
технического университета им. Г.И. Носова.
2013. № 5 (45). С. 9-11.

Сведения об авторах

Куряев Дмитрий Владимирович – директор ЗАО «Магнитогорский завод прокатных валков», Магнитогорск, Россия.

Никитенко Ольга Александровна – инженер–исследователь НИИ «Наносталей» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFECT OF NITROGEN ON OPERATING PROPERTIES OF THE ALLOYED IRON OF THE ROLL'S SKIN LAYER

Kurjaev D.V. – Director, CJSC Magnitogorsk Plant of Rolling Rolls, Magnitogorsk, Russian Federation.

Nikitenko O.A. – Engineer-researcher, NMSTU Research Institute of Nanosteels, Magnitogorsk, Russian Federation.

***Abstract.** Joint influence from alloyage by vanadium and nitrogen on skin layer of double-layer roll is considered in the article. The experimental results of the change in the coefficient of abrasive and shock-abrasive wear resistance depending on the amount of ligature are presented. The contribution of nitrogen on the change of the main operational properties of the iron of the roll's skin layer have been established. The most rational vanadium concentrations are recommended, depending on the prevailing wear pattern.*

***Keywords:** Rolls, wear, vanadium, nitrogen.*

Ссылка на статью:
Куряев Д.В., Никитенко О.А. Влияние азота на эксплуатационные свойства легированного чугуна рабочего слоя прокатных валков // Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 4-7.
Kurjaev D.V., Nikitenko O.A. Effect of nitrogen on operating properties of the alloyed iron of the roll's skin layer. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 26, no. 3, pp.4-7.

УДК 621.74:669.1

Ефимов А.В.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Аннотация. В настоящее время на производстве применяется большое разнообразие способов улучшения качества металла, воздействуя на него на стадии кристаллизации. Регулировать свойства готового металла можно уже на начальных стадиях приготовления – с помощью внешнего воздействия на расплав. Варьируя режимы и методы обработки расплава, можно в широких пределах изменять структуру и свойства металла. Работа посвящена исследованию способа физического воздействия на кристаллизующийся расплав стали, позволяющий существенно влиять на его структуру и свойства [1].

Ключевые слова: электромагнитный импульс, высокотемпературная обработка, зерно, структура, время выдержки, критическая температура.

Новым способом обработки кристаллизующихся расплавов является воздействие наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ). Применение высоковольтных нано- и субнаносекундных импульсов постоянно расширяется в связи с развитием и удешевлением аппаратуры их формирования. Цель работы: изучение влияния наносекундного электромагнитного импульса на стальные сплавы в процессе их кристаллизации [2].

Выплавка стальных сплавов осуществлялась в индукционной тигельной печи емкостью 30 кг. В процессе выплавки производилась высокотемпературная обработка расплавов. Химический состав полученных сплавов представлен в табл. 1. Высокотемпературная обработка (ВТОР) относится к одному из самых эффективных и успешно развиваемых способов теплового воздействия на расплав стали. При высокотемпературной обработке происходит рафинирование и гомогенизация расплава стали, что приводит к повышению целого ряда различных

характеристик. Целью высокотемпературной обработки является снижение влияния неметаллических включений в процессе кристаллизации, снижение шихтовой наследственности, подготовка расплава к кристаллизации под электромагнитным импульсом [3].

Экспериментальным способом установлено оптимальное время выдержки расплава при критической температуре, равное 10 мин. Процесс высокотемпературной обработки стали представлен на рис. 1.

Величина критической температуры высокотемпературной обработки определялась расчетным путем в зависимости от химического состава стали по правилу аддитивности (табл. 2). Температура разупорядочения – это температура, при которой расплав находится в гомогенном состоянии, отсутствуют кластерные группы и явление гистерезиса [4].

Таблица 1

Химический состав исследуемых сплавов

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	V
35Л	0,4	0,5	0,9	0,05	0,04	0,3	0,12	0,3	0,18
150ХНМ	1,5	0,46	0,54	0,05	0,03	1,0	0,73	0,18	----

Таблица 2

Температура разупорядочения

Сталь	$\Delta H_{\text{раз}} \text{ кДж/моль}$	$\Phi_{\text{раз}}$	A, коэффц.	T раз при $\Phi_{\text{раз}}=0,5$
35Л	51133	0,275156	8,8297	1870 °С
150ХНМ	49717	0,273214	8,7476	1817 °С

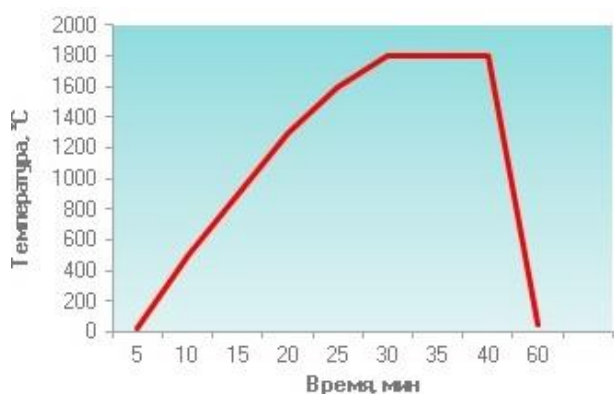


Рис. 1. Процесс высокотемпературной обработки стали при ее выплавке

Эксперименты по обработке расплавов металлов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) впервые проводились под руководством В.В. Крымского. Для алюминиевых сплавов наблюдалось заметное улучшение не только механических, но и эксплуатационных характеристик. Технологические процессы производства металлических расплавов связаны с переводом исходных материалов в расплавленное состояние и последующую кристаллизацию системы. Традиционно, исследователи большее внимание уделяют именно второй стадии, т.е. поиску оптимальных условий кристаллизации. Попытки же воздействия на металл на стадии расплава ограничиваются лишь дополнительным легированием и рафинированием, с целью оптимизации состава и удаления вредных примесей. В работе предлагается способ внешнего воздействия на расплав, обеспечивающий получение литого металла с повышенным комплексом свойств [1, 5].

В экспериментах использовался генератор фирмы «FID Technology», модель ГИН – 20 – 1. Частота наведения электромагнитного импульса в процессе обработки расплавов составляет 1000 Гц:

- длительность импульса 0.5 нс;
- амплитуда 10 кВ.

После заливки расплава в форму, на него сразу же подавался наносекундный электромагнитный импульс. Длительность воздействия электромагнитного импульса производилась до полного затвердевания отливки в форме (рис. 2).

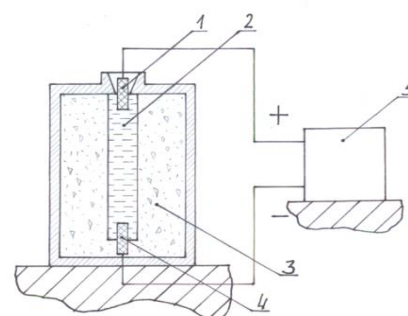
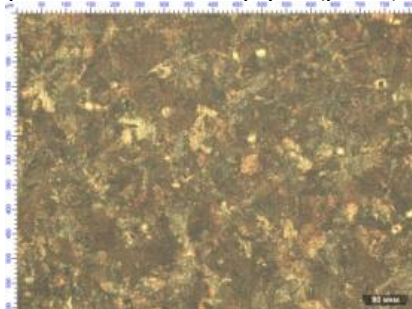
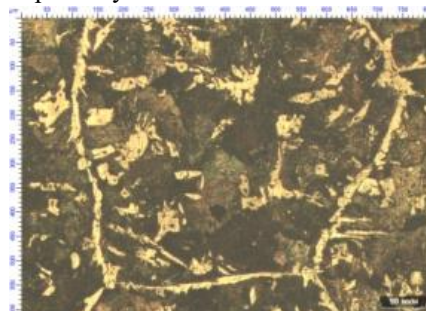


Рис. 2. Схема испытательной установки:

- 1 - графитовый электрод с активным анодом;
- 2 - отливка; 3 - ПГФ; 4 - графитовый электрод с пассивным катодом; 5 – источник НЭМИ.

Среднеуглеродистая литая сталь 35Л без термообработки имеет ферритно-перлитную структуру с видманштеттовым (ориентированным) распределением феррита и наличием ферритной сетки по границам бывших аустенитных зерен. После обработки НЭМИ происходит значительное упорядочение и измельчение зерна, повышаются твердость и прочность стали (рис. 3). В табл. 3 представлены механические свойства образцов из стали 35 Л. Микроструктура стали типа 150ХНМ в исходном (литом) состоянии представляет смесь тонкодисперсного перлита и цементита, располагающегося по границам зерен в виде сетки с участками грубого игольчатого строения [6, 7]. После обработки НЭМИ аналогично происходит значительное упорядочение и измельчение зерна (рис. 3). В табл. 4 представлены механические свойства образцов из стали 150ХНМ. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что произошло повышение пластичных свойств металла, в частности вдвое повысилась ударная вязкость. Кристаллизация с использованием НЭМИ может производиться и без ВТОР и прочей какой-либо предварительной подготовки. Несмотря на более сниженное влияние, НЭМИ также оказывает положительное влияние на структуру и свойства отливок. Структура образцов представлена на рис. 5. В табл. 5 представлены данные механических свойств образцов, прошедших НЭМИ обработку



а б
Рис. 3. Структура стали 35Л: а – литая; б – прошедшая ВТОР и НЭМИ.

Таблица 3

Механические свойства стали 35Л

Образец стали 35Л	Твердость, НВ	Износостойкость, Ки	Предел прочности σ_b , МПа	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²
Литой	110	1,26	362	22
ВТОР+НЭМИ	393	1,27	1305	10

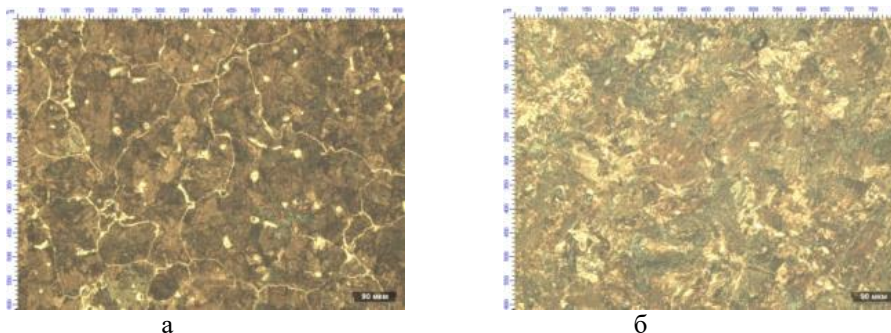


Рис. 4. Структура стали 150ХНМ: а – литая; б – прошедшая ВТОР и НЭМИ.

Таблица 4

Механические свойства стали 150ХНМ

Образец стали 150ХНМ	Твердость, НВ	Износостойкость, Ки	Предел прочности σ_b , МПа	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²
литой	378	1,17	1410	8
ВТОР+НЭМИ	352	0,76	1180	16

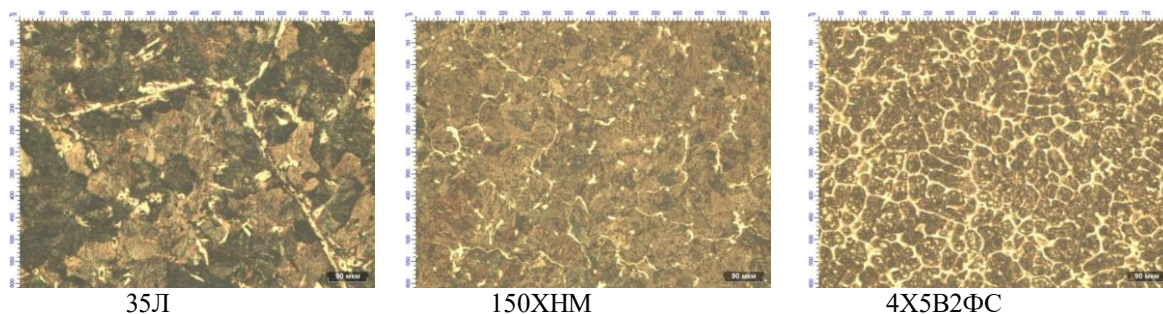


Рис. 5. Структура образцов стали, прошедших НЭМИ обработку без ВТОР

Таблица 5

Механические свойства образцов без (ВТОР)

Образец стали	Твердость, НВ	Износостойкость, Ки	Предел прочности σ_b , МПа	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²
35Л лит.	110	1,26	362	22

35Л литой НЭМИ	115	1,15	382	16
150ХНМ литой	378	1,17	1410	8
150ХНМ НЭМИ	501	1,5	1740	8
4Х5В2ФС Литой	373	1,43	1250	---
4Х5В2ФС НЭМИ	451	1,61	1550	---

Вывод

Использование высокотемпературной обработки и наносекундного электромагнитного импульса, как внешних воздействий на структуру и свойства стали, позволяет в значительной степени улучшить качество отливок уже на начальных стадиях приготовления сплавов.

Список литературы

1. Балакирев В.Ф, Крымский В.В, Шабурова Н.А. Электромагнитное облучение расплавов // Тезисы докладов восьмого международного уральского семинара «Радиационная физика металлов и сплавов». Снежинск, 2009. С. 29-31.
2. Балакирев В.Ф, Крымский В.В, Шабурова Н.А. Наноимпульсные технологии/ под ред. акад. РАН Л.А. Смирнова. Челябинск, 2012.
3. Савина Л.Г. Влияние высокотемпературной обработки расплава на структуру и свойства

высокоуглеродистых сплавов железа: дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2003. 129 с.

4. Чернов В.П. Теория расплавов: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 79 с.
5. Электроимпульсные нанотехнологии Балакирев В.Ф., Крымский В.В, Кулаков Б.А., Ри Хосен., под ред. чл.-корр. РАН Л.А. Смирнова. Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
6. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1978. 648 с.
7. Образование горячих трещин в низколегированной стали: исследование критических режимов /Брунелли К., Бруски С., Джотти А., Ленчина Р., Дабала М.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. №1. С. 79-87.

Сведения об авторах

Ефимов Андрей Витальевич - аспирант кафедры «Технологии металлургии и литейных процессов», ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: Unspok@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE IMPACT OF EXTERNAL INFLUENCES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL CASTINGS

Efimov Andrey Vitalevich - Postgraduate student of the Department: "Technologies of metallurgy and foundry processes", Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: Unspok@mail.ru.

Abstract. *Currently, the production uses a wide variety of ways to improve the quality of the metal, affecting it at the stage of crystallization. The properties of the finished metal can be adjusted at the initial stages of preparation by external influence on the melt. By varying the modes and methods of processing of the melt, it is possible to change the structure and properties of the metal within a wide range. The work is devoted to the study of the method of physical action on the crystallizing melt of steel, which allows to significantly influence its structure and properties.*

Keywords: *Electromagnetic pulse, heat treatment, grain structure, exposure time, temperature is critical.*

Ссылка на статью:

Ефимов А.В. Влияние внешних воздействий на структуру и свойства стальных отливок // Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 8-11.

Efimov A.V. The impact of external influences on the structure and properties of steel castings. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva.*

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.24

Бигеев В.А., Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Панишев Н.В., Потапова М.В., Лунев У.Д.

ПРОМЫВКА ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ КРЕМНЕЗЕМО-МАРГАНЦОВИСТОЙ РУДОЙ НИЯЗГУЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Представлены результаты использования комплексного кремнеземо-марганцовистого промывочного материала Нязгуловского месторождения в составе шихты доменной печи объемом 1370 м³. Загрузка ее в количестве 35,9 кг/т чугуна сопровождалась уменьшением коэффициента внутреннего трения в шлаковом расплаве. Расчетная вязкость шлака уменьшилась от 0,52 до 0,45 Па·с. Промывка горна от тугоплавких силикатов кальция, спели и мелочи кокса улучшило дренажную способность коксовой насадки. В контрольном периоде по сравнению с базовым **уменьшилось количество шлака, остающегося в горне печи после выпуска от 22,4 до 19,1 т. В результате увеличилась производительность печи от 3474 до 3497 т/сут при уменьшении удельного расхода кокса от 431,5 до 418,3 кг/т чугуна.**

Ключевые слова: доменная печь, комплексный кремнеземо-марганцовистый промывочный материал, дренажная способность кокса, горн.

Введение

Удельный расход кокса и производительность доменной печи в значительной степени определяются дренажной способностью коксовой насадки в гоне печи [1-7]. Вид мероприятий, используемых для улучшения условий фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса, зависит от причины снижения проницаемости коксовой насадки. В условиях ПАО «ММК» причин, затрудняющих процесс дренажа жидких продуктов плавки через слой кокса в горне печи, несколько. Во-первых, использование кокса низкого качества [8,9]. Средние величины основных показателей качества кокса следующие:

- Горячая прочность CSR 34-37%;
- реакционная способность CRI – 33-35%;
- истираемость по показателю M10 – 8,1-8,7%;
- холодная прочность по M25 – 87-88%.

Во-вторых, применение высокоосновного агломерата с величиной CaO/SiO₂ в пределах 1,8-1,9 [10]. В-третьих, большие колебания нагрева печи. Одним из показателей этих колебаний является среднеквадратическое отклонение по содержанию кремния в чугуне. За предшествующий год оно равнялось 0,7 %, что сопоставимо с абсолютной величиной содержания кремния в чугуне.

Длительное использование такого сырья в составе шихты доменных печей приводит к скоплению тонкодисперсной неплавящейся спели, мелочи кокса тугоплавких высокоосновных минералов. Постепенное накопление их в горне печи означает загромождение его компонентами, не являющимися чугуном и шлаком.

В связи с этим целесообразно использовать в составе шихты промывочные материалы. Таковыми могут являться марганцевые руды различных месторождений.

Основная часть

Ввиду ограниченности ресурсов марганцевых руд в РФ заставляют обратить внимание на себя небольшие месторождения этих руд, в том числе на территории Башкортостана и Челябинской области. Почти два десятка этих месторождений известны более ста лет и часть из них периодически (в трудные для уральской металлургии времена) разрабатывалась. Это сырье относится к бедным марганцевым рудам, содержащим от 10 до 30 % марганца. Встречаются марганцевые руды силикатного, окисного и реже карбонатного типов. Следует отметить, что эти южноуральские руды практически не поддаются обогащению рациональными способами, что ограничивает их применение.

С 2017 года возобновлена добыча марганцевой руды на Нязгуловском месторождении, на территории Абзелиловского района Башкортостана, что примерно в 40 км от г. Магнитогорска. Запасы марганцевой руды этого одного из самых больших месторождений южноуральской группы составляют около 2 млн т. Это месторождение известно со второй половины XIX века и эксплуатировалось братьями Рюмиными с 1890 по 1895 гг. В 1938 г. была проведена доразведка месторождения К.Е. Кожевниковым и С.Х. Тумановым, и с 1939 по конец 1943 года велась добыча марганцевой руды подземным способом (было пробито несколько штолен).

© Бигеев В.А., Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Панишев Н.В., Потапова М.В., Лунев У.Д., 2018

Таблица 1

Химический состав жидких продуктов плавки в исследуемых периодах на доменной печи № 6 ПАО «ММК»

Наименование показателя	Период		
	Базовый	Опытный	Контрольный
Содержание в чугуна, %: Si	0,66	0,74	0,73
Mn	0,23	0,62	0,25
S	0,016	0,014	0,016
Ti	0,045	0,051	0,052
P	0,058	0,062	0,065
C	4,63	4,70	4,68
V	0,072	0,070	0,075
Содержание в шлаке, %: SiO ₂	39,75	39,51	39,66
Al ₂ O ₃	9,49	9,39	9,43
TiO ₂	0,65	0,62	0,70
CaO	40,33	40,33	39,49
MgO	7,44	7,62	8,14
S	0,68	0,70	0,67
FeO	0,24	0,24	0,25
MnO	0,19	0,41	0,21
CaO/SiO ₂	1,015	1,020	0,996

В настоящее время комплексный кремнеземо-марганцовистый промывочный материал Ниязгуловского месторождения успешно применяется для промывки доменных печей ПАО «ММК». В табл. 1-4 приведены результаты испытаний по ее загрузке в доменную печь № 6. В базовом периоде марганцевую руду не использовали. Содержание марганца в чугуне составляло 0,23 (см. табл. 1). В опытном периоде ее загружали в количестве 35,9 кг/т чугуна. Период промывки составлял 7 сут. Содержание марганца в чугуне увеличилось от 0,23 до 0,62%.

Причиной использования промывочного материала на доменной печи № 6 послужило ухудшение дренажной способности коксовой насадки в горне из-за использования в составе шихты кокса низкого качества. Величина горячей прочности кокса в исследуемых периодах составляла 38,5-41,4 % (см. табл. 2).

В опытном периоде по сравнению с базовым улучшилась дренажная способность коксовой насадки. На это указывает уменьшение расчетной вязкости шлака по степени приближения фактического коэф

фициента распределения серы между чугуном и шлаком к равновесной величине от 0,52 до 0,45 Па·с, количество шлака, остающегося в горне печи после выпуска, - от 22,4 до 21,4 т (см. табл. 3).

Улучшение условий фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса в горне печи обеспечило повышение производительности печи в опытном периоде по сравнению с базовым от 3474 до 3484 т/сут при снижении удельного расхода кокса от 431,5 до 427,1 кг/т чугуна (см. табл. 4). Промывка горна от спели и мелочи кокса в опытном периоде положительно влияла на технико-экономические показатели плавки после вывода ее из состава шихты. В контрольном периоде по сравнению с опытным, в условиях уменьшения содержания марганца в чугуне от 0,62 до 0,25%, уменьшилось количество шлака, остающегося в горне печи после выпуска от 21,4 до 19,1 т, снизилось среднее квадратическое отклонение ковшей шлака между летками согласно табл. 3. В результате увеличилась производительность печи от 3484 до 3497 т/сут при уменьшении удельного расхода кокса от 427,1 до 418,3 кг/т чугуна.

Таблица 2

Показатели качества кокса, загружаемого в доменную печь в исследуемые периоды

Наименование показателя	Период		
	Базовый	Опытный	Контрольный
Содержание золы в коксе	13,0	12,9	12,7
Холодная прочность кокса по показателям, %:			
M10	8,5	8,4	8,0
M25	86,4	86,2	86,7
Горячая прочность кокса по CSR	41,4	38,9	38,5
Реакционная способность (CRI)	38,3	39,2	39,1

Таблица 3

Показатели дренажной способности коксовой насадки в горне доменной печи № 6

Наименование показателя	Период		
	Базовый	Опытный	Контрольный
Расчетная вязкость шлака по степени приближения фактического коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком к равновесной величине, Па·с	0,52	0,45	0,58
Количество шлака, остающегося в горне после выпуска, т	22,4	21,4	19,1
Растворимость углерода в чугуне, %	94,58	96,12	94,61
Индекс DMI	199	173	202
Перепад температур охлаждающей воды холодильников горна	1,09	1,08	1,07
Среднеквадратическое отклонение ковшей шлака между летками	1,09	1,08	1,07

Таблица 4

Основные технологические показатели работы доменной печи № 6 в исследуемые периоды

Наименование показателя	Период		
	Базовый	Опытный	Контрольный
Удельный расход кокса сухого, скипового), кг/т чугуна:			
фактический	431,5	438,1	417,0
приведенный к базовому периоду	-	427,1	418,3
Расход коксовой фракции, кг/т чугуна	19,9	15,6	19,8
Производительность, т/сут:			
• по фактическому количеству			
• загруженных подач	3474	3483	3568
• приведенная к базовому периоду	-	3484	3497
Расход, кг/т чугуна:			
• сырьевых материалов			
• в том числе марганцевой руды	1694	1734	1696
	-	35,9	-
Доля окатышей от ЖРС, %	32,7	30,6	33,6
Интенсивность хода:			
• по дутью, м ³ /м ³ мин			
• по суммарному углероду т/м ³ сут	2,129	2,096	2,093
	1,145	1,153	1,137
Содержание Fe в шихте, %	57,3	56,0	57,3
Давление горячего дутья, кПа	271	272	272
Давление колошникового газа, кПа	143	142	141
Температура дутья, °С	1125	1126	1126
Расход водяного пара, г/м ³	6,9	6,9	6,7
Содержание кислорода, %	27,0	27,4	27,2

В настоящее время проведены вскрышные работы объемом более 200 тыс. м³ и получен доступ к основному рудному телу, запасы которого оцениваются в 1,5 млн т. Прямо в карьере добытая руда подвергается дроблению и грохочению (выделяются фракции 10-60 и 0-10 мм) с помощью

двух мобильных автономных дробильно-сортировальных комплексов общей потенциальной производительностью 30 тыс.т в месяц.

Основным минералом этой руды является кварцит марганца, поэтому при содержании от 14 до 22 % Mn (иногда достигает 30 %), концентрация

кремнезема SiO₂ составляет от 35 до 51 %, железа - 10-15 %. Содержание фосфора не превышает 0,030%. По нашим расчетам, она способна полностью заменить кварцит (или подобные ему материалы). В связи с этим руда Ниязгуловского месторождения является комплексным кремнеземо-марганцовистым

промывочным материалом. Оксид марганца обеспечивает промывку от мелочи кокса и спели. Кремнезем превращает тугоплавкие силикаты кальция в минералы с пониженной температурой плавления, что повышает дренажную способность коксовой насадки.

Заключение. Следует признать, что у южноуральских марганцевых руд есть определенная перспектива применения на металлургических предприятиях Урала. Использование комплексного кремнеземо-марганцовистого промывочного материала Ниязгуловского месторождения на доменной печи № 6 ПАО «ММК» в количестве 35,9 кг/т чугуна сопровождалось улучшением дренажной способности коксовой насадки в горне печи. Уменьшилось количество шлака, остающегося в горне печи после выпуска, от 22,4 до 19,1 т. В результате увеличилась производительность печи от 3474 до 3497 т/сут при уменьшении удельного расхода кокса от 431,5 до 418,3 кг/т чугуна.

Список литературы

1. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи /Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Чевычелов А.В., Колосов А.В., Гостенин В.А., Пишнограев С.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4 (32). С. 28-30.
2. Оценка фильтрации продуктов плавки в доменной печи по динамическим характеристикам при использовании в шихте коксового орешка /Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Ковыров А.В., Полинов А.А., Семенов М.А., Терентьев В.Л. //Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2010. Т. 1. № 68. С. 135-138.
3. Титов В.Н., Басов В.И. Количественная оценка различных факторов на дренажную способность горна. //Современная металлургия начала нового тысячелетия: Сб. науч. тр. в ч. 2. Липецк, 2007. С. 188-193.
4. Кропотов В.К. Оценка дренажной способности кокса в горне доменных печей // Производство чугуна: межвуз. сборник. Магнитогорск: МГМИ, 1987. С. 109–119.
5. Лялюк В.П. Современные проблемы технологии доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 1999. 164 с.
6. Прохоров И.Е., Кропотов В.К., Дружков В.Г. Очертание поверхности «газ – шлак» в горне доменной печи и некоторые особенности выпусков // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы. Екатеринбург: УГТУ, 2000. С. 118 – 122.
7. Моделирование шлакового режима доменной плавки /Спирин Н.А., Онорин О.П., Рыболовлев В.Ю., Перминов А.И., Щипанов К.Л.// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. № 8. С. 51-55.
8. Прочностные характеристики коксового орешка различного происхождения / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Теплых Е.О., Степанов Е.Н., Мезин Д.А., Фетисов В.Б.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 1 (37). С. 19-21.
9. Шмёле П., Петерс М. Качество кокса и производительность доменной печи //Черные металлы. 2013. № 11 (983). С. 48-57.
10. Работа доменных печей ОАО «ММК» с высокой долей окатышей в шихте. Ч. 1 /Павлов А.В., Онорин О.П., Спирин Н.А., Полинов А.А.//Металлург. 2016. № 6. С. 36-42.

Сведения об авторах

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий металлургии и литейных процессов ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Сибатуллин Салават Камилевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: 10tks@mail.ru.

Харченко Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Панишев Николай Васильевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: n.panishev@mgtu.ru.

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: marina_potapova8@mail.ru.

Лунев Устин Дмитриевич – магистрант кафедры технологий металлургии и литейных процессов. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mcm@magtu.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

WASHING THE HEARTH OF BLAST-FURNACE WITH SILICONE-MANGANESE ORE OF NIYAZGULOV DEPOSIT

Bigeev Vakhit Abdrashitovich – D. Sc. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Sibagatullin Salavat Kamilovich – D. Sc. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: 10tk@mail.ru.

Kharchenko Alexander Sergeevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Panishev Nikolay Vasilyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: n.panishev@magtu.ru.

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mari-na_potapova8@mail.ru.

Lunev Ustin Dmitrievich – master degree student Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru.

***Abstract.** The results of the use of the complex silica-manganese wash material of the Niyazgulov deposit in the 1370 m³ volume blast furnace are presented. Consumption of this ore in amount of 35.9 kg per ton of iron was accompanied by a decrease in the coefficient of internal friction in the slag melt. The calculated viscosity of the slag has decreased from 0.52 to 0.45 Pa · s. Washing the hearth has allowed to remove refractory calcium silicates, kish and fines of coke and improved the drainage capacity of the coke nozzle. During the control period, the amount of slag remaining in the furnace hearth after iron release has decreased from 22.4 to 19.1 tons in comparison to the base one. As a result, the productivity of the furnace has increased from 3474 to 3497 tons per day with a decrease in the specific coke consumption from 431.5 to 418, 3 kg per ton of iron.*

***Keywords:** Blast furnace, complex silica-manganese wash material, drainage capacity of coke, hearth.*

Ссылка на статью:

Бигеев В.А., Сибегатуллин С.К., Харченко А.С., Панишев Н.В., Потапова М.В., Лунев У.Д.

Промывка горна доменной печи кремнеземо-марганцовистой рудой ниязгуловского месторождения // Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 12-16.

Bigeev V.A., Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Panishev N.V., Potapova M.V., Lunev U.D. Washing the hearth of blast-furnace with silicone-manganese ore of Niyazgulov deposit. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 26, no. 3, pp.12-16.

УДК 621.791:624

Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы): в статье описаны современные сварочные флюсы для сварки низколегированных сталей и средства защиты сварного шва газами, сформулированы актуальные проблемы традиционных методов сварки под флюсом и способов защиты сварного шва для обеспечения качественных показателей сварных изделий. **Цель работы:** разработка новых сварочных флюсов на основе техногенных отходов металлургического производства для обеспечения качественных характеристик сварных швов. **Используемые методы:** применялся термодинамический анализ окислительно-восстановительных реакций оксидов (FeO), (MnO), (SiO₂), (Al₂O₃) с восстановителями [Mn], [Si], [Al], C_{тв}, CO₂, CO_{2г}, для определения кислорода в сварном шве применялся метод восстановительного плавления на газоанализаторе ТС-600, металлографические исследования проводили на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100. **Новизна:** показана принципиальная возможность использования ковшевого шлака электросталеплавильного производства и шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. При этом введение в состав изготовленных на основе данных шлаков сварочных углеродфторсодержащей добавки ФД-УФС позволяет снизить уровень загрязненности неметаллическими включениями и повысить механические свойства сварного шва. **Практическая значимость:** разработаны технологии использования новых углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов, позволяющих при их применении значительно снизить уровень загрязненности стали окисными неметаллическими включениями, уменьшить газонасыщенность сварного шва, повысить спектр требуемых механических свойств.

Ключевые слова: сварка, флюс, металл, шлак, флюсовая добавка, механические свойства, макроструктура, микроструктура.

Введение

Используемые в настоящее время сварочные флюсы для сварки низколегированных сталей являются окислительными и построены на принципах кремне-марганцево-окислительно-восстановительных процессах. Соответственно при их использовании продуктами являются оксидные соединения кремния, марганца, железа, алюминия и др., которые в процессе сварки чаще всего не успевают всплыть и ассимилироваться образующимся из сварочного флюса шлаком. В итоге происходит повышение общего уровня загрязненности неметаллическими включениями металла сварного шва и, как следствие, снижение комплекса физико-механических свойств. Для исключения загрязнения металла шва, по-видимому, целесообразно использование восстановителей, образующих газообразные продукты реакции. Таким восстановителем может быть углерод, образующий при взаимодействии с окислителями газообразные соединения CO₂ и CO.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

В настоящее время защита сварного шва газами CO₂ (CO) осуществляется отгеснением атмосферных газов из области сварки, а не за счет реакции раскисления углеродом системы металл-шлак. Обычно для этого используют карбонаты типа

CaCO₃, MgCO₃, FeCO₃, Na₂CO₃, MnCO₃. Без учета затрат на разложение карбонатов наиболее оптимальным является использование во флюсах MgCO₃ и CaCO₃ как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество CO₂ при разложении 1 кг материала и образующих основные оксиды CaO и MgO, которые в свою очередь, участвуют в повышении основности сварочного флюса и соответственно образующегося шлака. Этими предпосылками и обусловлено использование карбонатов в ряде разработанных в нашей стране флюсов и флюс-добавок. К таким добавкам можно отнести разработанную и защищенную патентом РФ флюс-добавку АНК, успешно внедренную в производство в условиях АО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова» (НЗРМК) [1,2].

При её изготовлении используются ферросилиций марки ФС75 ГОСТ 1415-93, мрамор марки М92- М97 ГОСТ 4416-94 (92-97% CaCO₃) и жидкое стекло по ГОСТ 13078-81. Размол мрамора и ферросилиция проводится до фракции менее 1 мм. Смешивание молотого мрамора и ферросилиция осуществляется в процентном соотношении 50-50% по массе. Технология предусматривает сушку после смешения с жидким стеклом в течение суток при температуре 20-30°C и сушку при температуре 100-200°C в течение 10-20 мин с последующим размолом и фракционированием. Техническими условиями предусмотрено введение добавки АНК во флюсы в количестве 3-5%. Перед использованием флюса с добавкой рекомендуется прокаливание в печи при

© Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р., 2018

температуре 250-350°C в течение 40-60 мин.

Данная добавка используется в технологии сварки резервуаров методом рулонирования. Процесс сборки, сварки, контроля и сворачивания в рулоны полотнищ стенок резервуаров производится на специальных установках для рулонирования с верхним и нижним сворачиванием. В процессе применяется двусторонняя сварка стыковых швов полотнищ стенок автоматическим способом под флюсом сначала на верхнем ярусе, затем, после протягивания полотнища с помощью барабана, на нижнем ярусе. Применение добавки исключило порообразование и позволило повысить качественные характеристики сварных швов.

В последние годы в связи с освоением нефтяных месторождений в условиях Севера возникла необходимость в изготовлении полотнищ стенок нефтеналивных резервуаров в северном исполнении. В условиях НЗРМК освоено производство резервуаров в северном исполнении в соответствии с «Правилами устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» ПБ-03-605-03 и СНиП II-23-81. Технологический процесс сборки, сварки, контроля и сворачивания в рулоны полотнищ стенок резервуаров производится на специальных установках для рулонирования. При изготовлении резервуаров применяется кремнемарганцовистая сталь 09Г2С (ГОСТ 6713-91). В результате проведенных работ разработана и освоена оптимальная технология сварки полотнищ стенок резервуаров, работающих в условиях низких отрицательных температур, - двусторонняя сварка: с внутренней стороны резервуара проволокой Св-08ГА (на верхнем ярусе) под смесью флюсов АН-67Б и АН-348А при соотношении 1:1, с наружной стороны проволокой Св-10НМА (на нижнем ярусе) под флюсом АН-60 и АН-348А при соотношении 1:1. Сварка осуществляется без разделки кромок до толщин листа 18 мм. На верхнем ярусе стыковые швы свариваются на режимах, обеспечивающих проплавление металла до 0,55 толщины листа. На нижнем ярусе сварка производится на большем токе, позволяющем получить проплавление металла до 0,7 толщины листа. Разработанная технология позволила получить весь спектр требуемых механических свойств и ударной вязкости при отрицательных температурах резервуарных металлоконструкций, исключить дефекты – трещины при сварке [3-5]. Технология защищена патентом РФ [6].

При изучении возможности использования углерода в качестве добавки в известные флюсы была проведена оценка термодинамической вероятности протекания окислительно - восстановительных реакций оксидов (FeO), (MnO), (SiO₂), (Al₂O₃) с восстановителями [Mn], [Si], [Al], C_{тв}, CO_г, CO_{2г}. Проведенный термодинамический анализ показал, что введенный в систему углерод способен за счет

высоких восстановительных свойств при T=1950 – 2200 К существенным образом повлиять и снизить содержание неметаллических включений в металле шва [7].

Процесс удаления водорода из металла сварного шва при использовании сварки под флюсом осуществляется введением во флюс фторсодержащих добавок (обычно флюорита или криолита), позволяющих в результате связывания водорода с фтором проводить удаление водорода в виде соединения HF. Проведена [8,9] термодинамическая оценка вероятности протекания процессов удаления водорода из сварного шва при сварке под фторсодержащим флюсом в стандартных состояниях в интервале температур 1700 – 2200 К. При этом в качестве стандартных состояний для веществ – реагентов были выбраны: Na₃AlF_{6ж}, SiO_{2ж}, SiF_{4г}, NaAlO_{2тв}, Na₂SiO_{3ж}, CaF_{2ж}, CaSiO_{3тв}, H_{2г}, SiF_{2г}, HF_г, O_{2г}, SiF_г, H_г. В результате расчетов стандартной энергии Гиббса и констант равновесия реакций определено, что из реакций прямого взаимодействия фторагентов шлака с водородом и кислородом металла наиболее вероятной является реакция с криолитом. В механизме более сложного взаимодействия с участием в реакции, кроме фторагентов, кремнезема шлака и возможным образованием промежуточного продукта SiF_{4г} более вероятным является процесс с флюоритом. Расчеты показали целесообразность использования соединения Na₃AlF₆ наряду с флюоритом для удаления водорода при сварке под флюсом.

Исходя из данных предпосылок, нами разработана технология сварки под флюсом с использованием углеродфторсодержащей добавки. За основу углеродфторсодержащей добавки были взяты отходы металлургического производства в виде пыли с химическим составом (мас. %): Al₂O₃ = 21 – 46,23; F = 18 – 27; Na₂O = 8 – 15; K₂O = 0,4 – 6; CaO = 0,7 – 2,3; SiO₂ = 0,5 – 2,48; Fe₂O₃ = 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. Проведены исследования влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и импортный флюс ОК.10.71 на процесс рафинирования металла сварного шва [10-27]. В результате исследований определено, что с увеличением количества углеродфторсодержащей добавки и жидкого стекла в качестве связующего наблюдается снижение общего кислорода в сварном шве (рис. 1), а также значительно повышаются механические свойства и особенно ударная вязкость при отрицательных температурах (рис.2,3). Вышеприведенные на рис.1-3 тенденции предопределены, по-видимому, общей газонасыщенностью сварного шва. Определение кислорода методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 показало, что массовая доля данного газа с повышением содержания добавки во флюсе уменьшалась, а

проведенный фракционный газовый анализ показал, что в зависимости от окисленности и основности шлаковой системы происходит перераспределение кислорода во включениях. Распределение кислорода в силикатах, алюминатах, алюмосиликатах, по-видимому, связано с основностью полученного шлака и ассимиляции неметаллических включений шлаком в зависимости от получаемой вязкости шлака. Наибольшее количество алюминатов и алюмосиликатов, неблагоприятно влияющих на физико-химические свойства сварного соединения, содержалось при сварке под флюсом АН-60, при введении добавки наблюдалось снижение количества этих соединений. Во флюсах АН-348 и АН-67 изменения были незначительны (рис. 4).

Углеродфторсодержащая добавка повлияла на

снижение содержания водорода в сварном шве по вышеописанному механизму за счет фтора (рис. 5), концентрация азота также незначительно снизилась.

Теоретические предпосылки, лабораторные исследования и промышленные опыты позволили разработать технологии использования сварочных флюсов с углеродфторсодержащей добавкой при сварке металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях экстремально низких температур. Изготовление флюса добавки марки ФД – УФС по ТУ 5929-007-01395874-2015 организовано в условиях АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова». Разработанные технологии сварки металлоконструкций с использованием флюс - добавки защищены патентами РФ [28,29].

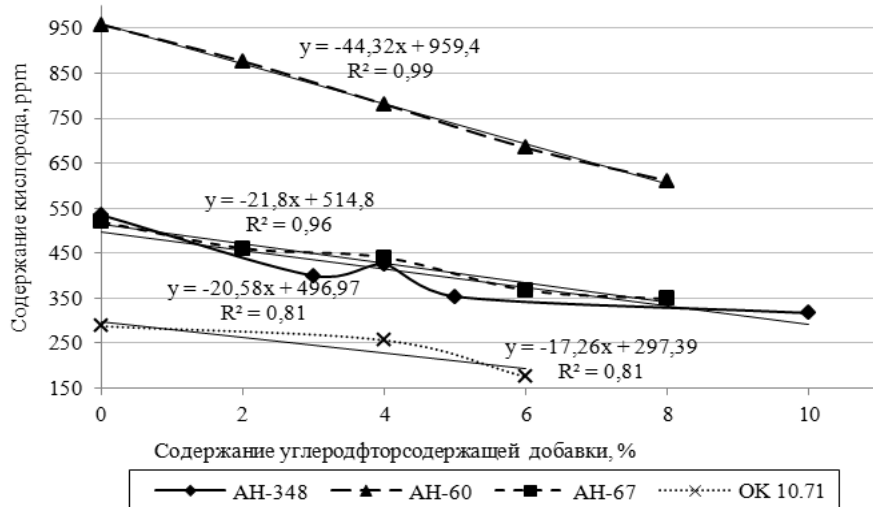


Рис. 1. Изменение содержания общего кислорода во флюсах в зависимости от введения углеродфторсодержащей добавки

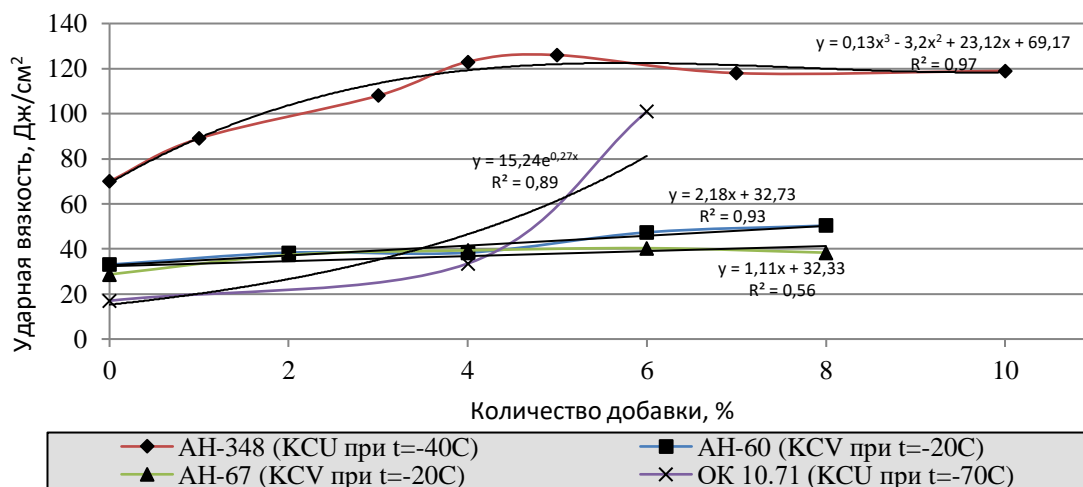


Рис. 2. Изменение ударной вязкости в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

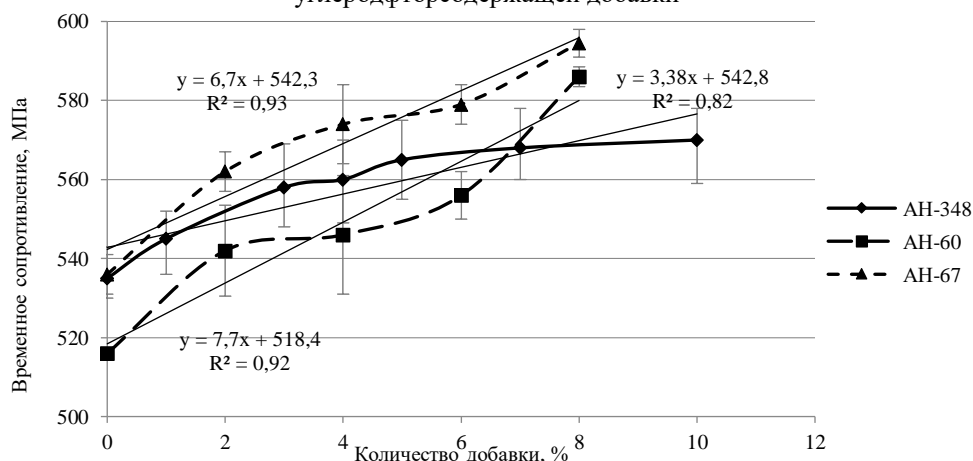


Рис. 3. Изменение временного сопротивления в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

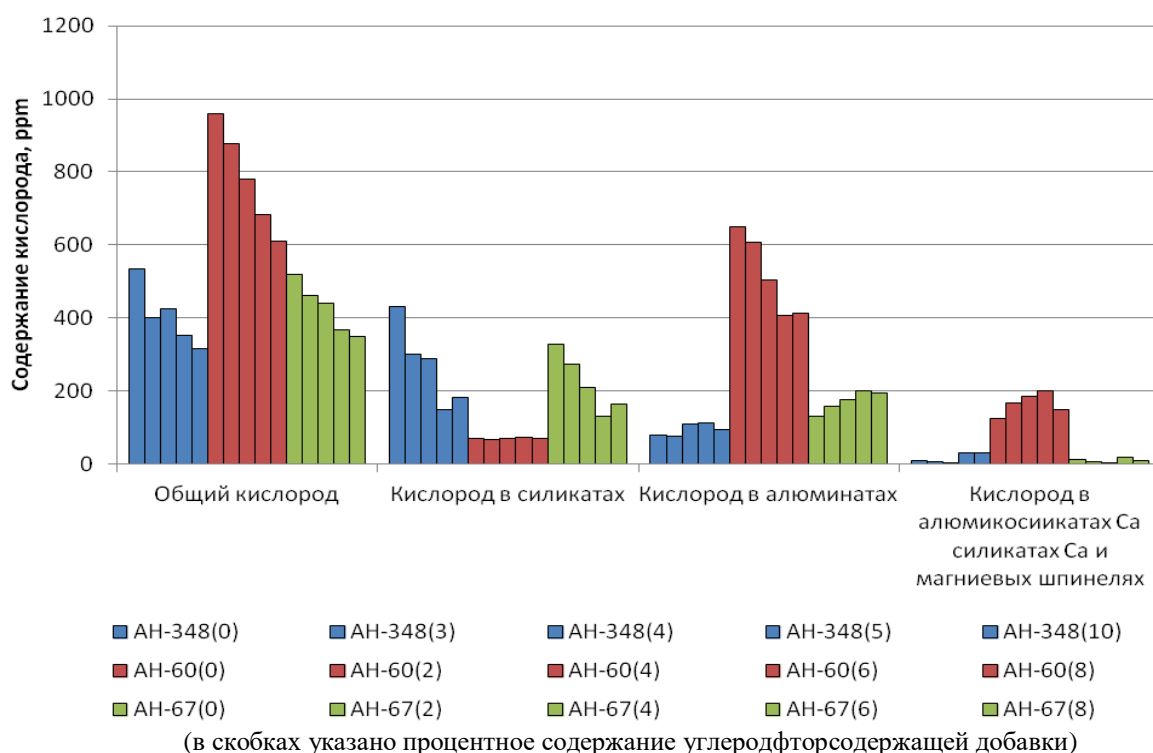


Рис. 4. Изменение концентрации общего и фракционного кислорода в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

Проведены исследования по изучению возможности использования новых сварочных флюсов на основе металлургических отходов – ковшевых шлаков, получаемых при производстве рельсовой электростали [30, 31]. На компонентный состав и технологии наплавки по данным заявкам

получены патенты РФ [32,33].

Предложено использование шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов [34-37]. Для изготовления флюса использовали шлак производства силикомарганца с химическим составом, мас.% : 6,91-9,62 Al_2O_3 , 22,85-31,70 CaO ,

46,46-48,16 SiO₂, 0,27-0,81 FeO, 6,48-7,92 MgO, 8,01-8,43 MnO, 0,28-0,76 F, 0,26-0,36 Na₂O, ≤0,62 K₂O, 0,15-0,17 S, 0,01 P [38]. В опытах использовали флюс-добавку ФД-УФС, примешиваемую к флюсу (шлаку производства силикомарганца) в соотношении 2, 4, 6, 8 % соответственно. Определено, что введение добавки ФД-УФС снижает уровень загрязненности неметаллическими включениями, уменьшая их размер

и количество. В исследуемых интервалах на снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями эффективнее влияет использование добавки в количестве 8%. Изучение значений механических свойств показало, что уровень свойств повышается с увеличением количества добавки ФД-УФС (рис. 6). Проведенные исследования легли в основу патентов РФ [39, 40].

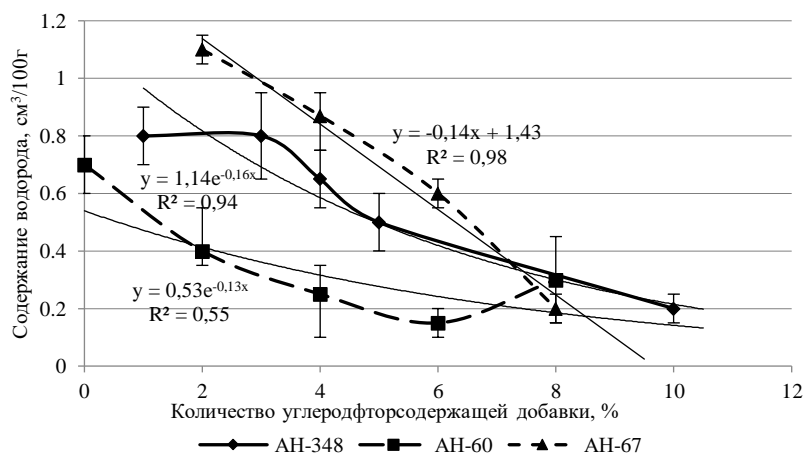


Рис. 5. Изменение водорода в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

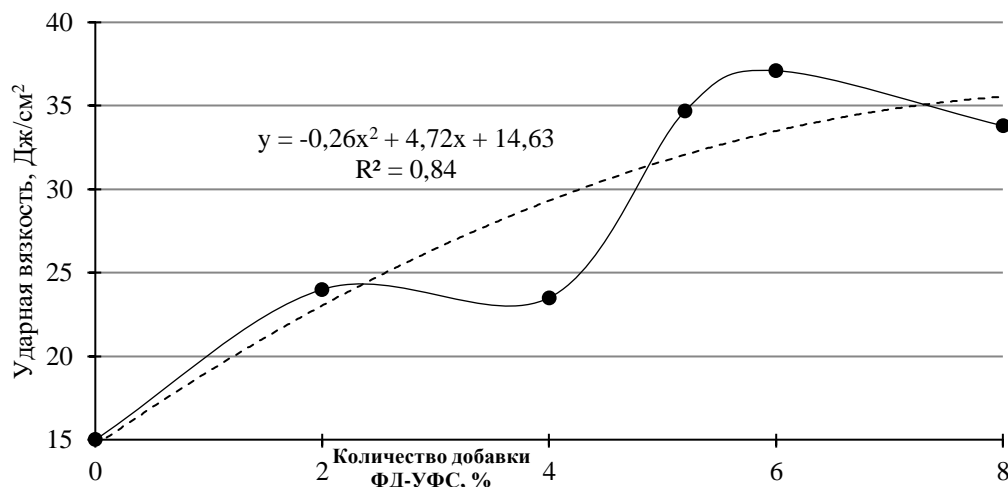


Рис. 6. Влияние содержания добавки ФД-УФС во флюсе на ударную вязкость (KCV при -20 °С)

Заключение

1. Разработаны технологии использования новых углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов, позволяющих при их применении значительно снизить уровень загрязненности стали оксидными неметаллическими включениями, уменьшить газонасыщенность сварного шва, повысить спектр требуемых механических свойств. Технологии

внедрены в производство и используются для сварки нефтеналивных резервуаров, эксплуатируемых в условиях отрицательных температур. Организовано производство защищенной патентом РФ флюс-добавки марки ФД-УФС.

2. Показана принципиальная возможность использования ковшевого шлака электросталеплавильного производства и шлака

производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. При этом введение в состав изготовленных на основе данных шлаков сварочных углеродфторсодержащей добавки ФД-УФС позволяет снизить уровень загрязненности неметаллическими включениями и повысить механические свойства сварного шва.

Список литературы

1. Manufacture of vertical bulc –oil storage tanks for northern climates using special welding materials/ Kryukov N.E., Koval'skii I.N., Kozyrev N.A., Igushev V.F., Kryukov R.E.// Steel in Translation. -2012. Tol. 42. № 2. P. 118-120.

2. Пат. 2467853 РФ, МПК ⁸ В23 К35/362. Керамический флюс-добавка/ Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. № 201112341602/02(034654). Заявл. 08.06.2011.

3. Изготовление нефтяных резервуаров, работающих в условиях Севера /Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е. // Электromеталлургия. 2011. № 10. С. 28- 31.

4. Изготовление нефтеналивных вертикальных резервуаров в северном исполнении с применением специальных сварочных материалов / Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2012. № 2. С. 49 – 52.

5. Дуговая сварка нефтеналивных вертикальных резервуаров, эксплуатируемых в условиях низких температур / Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е.//Сварочное производство. 2012. № 5. С. 35–38.

6. Пат. 2465108 РФ, МПК ⁸ В23 К9/18, В23 К35/362. Способ сварки под флюсом/ Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. № 2011123342/02(034573). Заявл. 08.06.2011.

7. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом / Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В., Горюшкин В.Ф.// Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. №10. С. 25-28.

8. Схема удаления водорода при сварке под фторсодержащими флюсами/ Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре., Г.В. Галевский, Н. А. Козырев, В.Ф. Горюшкин // Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 177-180.

9. Термодинамические аспекты удаления водорода при сварке под

углеродфторсодержащими флюсами / Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Горюшкин В.Ф. //Изв. вузов. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 2. С. 99-104.

10. Влияние углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов на свойства сварных швов/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н., Крюков Р.Е., Голдун З.В.// Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 6. С. 26 – 29.

11. Использование углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В., Крюков Р.Е., В.М. Шурупов// Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 10. С. 35 – 38.

12. Влияние углерод- и фторсодержащих добавок в составе флюсов на содержание неметаллических включений и свойства сварных швов / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Голдун З. В., Ковальский И. Н.// Сварочное производство. 2012. № 12. С. 3-6.

13. Влияние флюса АН-60 с углеродфторсодержащей добавкой на качество сварных швов стали 09Г2С / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., С.Н. Старовацкая, А.В. Роор // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 4. С. 30-33.

14. Разработка добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Роор А. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 9 - 12.

15. Исследование влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 на свойства металла сварных швов стали 09Г2С/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Роор А.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 8. С. 33-36.

16. Исследование влияния углеродфторсодержащей добавки во флюс FLUX 10.71 на свойства металла сварных швов стали 10 ХСНД / Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В., Старовацкая С.Н., Игушев В.Ф. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. №2. С. 44-47.

17. Влияние керамической углеродфторсодержащей добавки в составе алюминатного флюса на качество сварного соединения/ Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В., Старовацкая С.Н., Игушев В.Ф. // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып.32. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2014. С. 48-53.

18. Effect of carbon- and fluorine-containing additions in the composition of fluxes on the content of nonmetallic inclusions and properties of welded joints / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, Z.V. Goldun, I.N. Kovalsky // Welding International . 2013. Vol. 27. № 12. P. 963 – 965.

19. New carbon-fluorine containing additive for the welding fluxes/ N.A. Kozyrev, R. E. Krukov, D.E. Kolmogorov// *Mechanics and materials*. Vol.682(2014). P. 495-498.
20. New carbon-fluorine additives for welding fluxes/ N.A. Kozyrev, N.E. Krukov, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, L.P. Bashchenko, U.I. Lipatova/ *Steel in Translation*. 2015. Vol. 45. № 4. P. 251-253.
21. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia. doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012016.
22. Possibilities of Application of Carbon-Fluorine Containing Additions in Submerged-Arc Welding/ N.A. Kozyrev, N.E. Kryukov, R.E. Kryukov, V.F. Igushev, I.I. Kovalskii// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012018: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012018.
23. The carbon-fluorine additives for welding fluxes /R.E. Kryukov, O.A. Kozyreva, N.A. Kozyrev // *Mechanics, Materials Science and Engineering*. 2016. Vol.2. №2. P.5-14. ISSN 2412-5954. DOI: 10.13140/RG.2.1.1002.3443
24. Technological aspects of using a carbon-fluorine-containing addition in submerged-arc welding /N. A. Kozyrev, R. E. Kryukov, N. E. Kryukov, I. N. Kovalskiy, V. F. Igushev / *Welding International* - 2016. Vol.30. Issue 4. P. 325-328. DOI:10.1080/01431161.2015.1058009
25. Углеродсодержащие флюс-добавки для сварочных флюсов / Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Крюков Н. Е., Ковальский И. Н., Бендре Ю.В.// *Сварочное производство*. 2016. № 5. С. 9-14.
26. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом / Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В., Горюшкин В.Ф.// *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2014. №10. С. 25-28.
27. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом /Козырев Н. А., Крюков Н. Е., Крюков Р. Е., Игушев В. Ф., Ковальский И. Н.//*Сварочное производство*. 2015. № 4. С. 43-47.
28. Пат. 2484936 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Керамический флюс-добавка/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Голдун З.В.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. №2012104939/02(007484). Заявл. 13.02.2012.
29. Пат. 2564801 РФ, МПК⁸ В23 К35/36. Флюс-добавка/ Козырев Н.А., Крюков Р.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова.- № 2013144914/02(069340). Заявл. 07.10.2013.
30. Использование ковшевого сталеплавильного шлака при изготовлении сварочного керамического флюса/ Якушевич Н.Ф., Козырев Н.А., Проводова А.А., Крюков Р.Е., Липатова У.И.// *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2015. № 3 (13). С. 3-5.
31. Изготовление сварочных флюсов с использованием отвальных шлаков производства силикомарганца / Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.Е., Липатова У.И.// *Обработка материалов: современные проблемы и пути решения: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов/ Юргинский технологический институт. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2015. С. 90-95.*
32. Пат. 2566235 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Флюс для сварки и наплавки / Козырев Н.А., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Козырева О.А., Шурупов В.М., Титов Д.А.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2014122213/02(036019). Заявл. 30.05.2014.
33. Пат. 2566236 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Флюс для сварки и наплавки / Козырев Н.А., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Козырева О.А., Махин Д.И., Осетковский И.В., Шурупов В.М.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2014122214/02(036020). Заявл. 30.05.2014.
34. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.E., Lipatova U.I., Filonov A.V. Production of Welding Fluxes Using Waste Slag Formed in Silicomanganese Smelting // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 6: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions 26 – 28 November 2015, Yurga, Russia.
35. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I., Kozyreva O.E. On the use of slag from silicomanganese production for welding flux manufacturing // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1 – 9.
36. Разработка сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца / Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Кибко Н.В., Липатова У. И., Козырева О.Е. // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып.36. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2016. С. 94-100.*

37. Influence of the Introduction of Carbon-Fluorine Additive to the Slag of the Production of Silicomanganese on the Weld Joint Quality / N A Kozurev, R E Kryukov, O E Kozureva, E A Zernin, D S Kartsev//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 142(2016) - pages 1-6: VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering", 19–21 May 2016, Yurga, Russian Federation. doi:10.1088/1757-899X/142/1/012014.

38. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца/ Н. А. Козырев, Р.Е. Крюков, Н.Е. Крюков, И.Н. Ковальский, О.Е. Козырева // Черная металлургия. Бюллетень

научно-технической и экономической информации. 2017. Вып. 5 (1409). С. 85-89.

39. Пат. 2576717 РФ, МПК8 В23 К35/362. Флюс для сварки / Крюков Н.Е., Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.А.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. № 2014122996/02(037469). Заявл. 05.06.2014, опубл. 10.03.2016. Бюл. № 7.

40. Пат. 2579412 РФ, МПК8 В23 К35/362. Флюс для сварки / Крюков Н.Е., Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.А.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. № 2014123002/02(037475). Заявл. 05.06.2014; опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.

Сведения об авторах

Козырев Николай Анатольевич – д-р техн. наук, проф., Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: kozurev_na@mtsp.sibsiu.ru.

Крюков Роман Евгеньевич – канд. техн. наук, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: rek_nzrmk@mail.ru.

Крюков Николай Егорович – генеральный директор, АО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций», г. Новокузнецк, Россия.

Усольцев Александр Александрович – канд. техн. наук, доц., Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: a.us@rambler.ru.

Михно Алексей Романович – магистрант, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Kozyrev Nikolay Anatolevich. – D. Sc. (Eng.), Professor Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation. E-mail: kozurev_na@mtsp.sibsiu.ru.

Kryukov Roman Evgenyevich. – Ph.D. (Eng.) Siberian state industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation.

Kryukov Nikolay Egorovich. – General Director JSC "Novokuznetsk plant tank metal", Novokuznetsk, Russian Federation.

Usoltsev Aleksandr Aleksandrovich. – Ph.D. (Eng.). Assistant Professor Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation. E-mail: a.us@rambler.ru.

Mikhno Aleksey Romanovich – Graduate student Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation.

DEVELOPMENT OF NEW WELDING GUMBOILS WITH THE USE CARBONFLUORINE OF ADDITIONS

Abstract. Problem statement (relevance): The article describes modern welding fluxes for welding of low-alloy steel and protection of weld gases, formulated the actual problems of traditional methods of submerged arc welding and ways of protection of the weld to ensure quality indicators weldments. Goal: development of new welding fluxes on the basis of technogenic waste of metallurgical production to ensure the quality characteristics of the welded joints. **Methods Applied:** We applied a thermodynamic analysis of redox reactions of oxides (FeO), (MnO), (SiO₂), (Al₂O₃) with reductants [Mn], [Si], [Al], STW, SOG, CO₂, for definition of KIS-lorada in the weld was used as the reductive melting on the gas analyzer TC-600, metallo-graphic investigations were carried out on the micro-sections without etching using optical microscope OLYMPUS GX-51 at the magnification of 100. **Originality:** The conceptual possibility of the use of cov-sewage slag of electric steel production and slag to the production of silico-manganese for making welding fluxes. In this introduction to composition is based on the data of slags welding overadvertised additive FD-UFS allows to reduce the level of contamination of non-metallic inclusions and to improve the mechanical properties of the weld. **Practical relevance:** The developed technology the use of new carbon-containing additives for welding fluxes, allowing for their application to significantly reduce the level of contamination of steel non-metallic oxide inclusions, to reduce the saturation of the weld, to increase the spectrum required mechanical properties.

Keywords: Welding, flux, metal, slag, flux additive, mechanical properties, macrostructure, microstructure.

Ссылка на статью:

Разработка новых сварочных флюсов с использованием углерод-фторсодержащих добавок / Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р.// Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 17-25.

Kozyrev N. A. Kryukov R. E., Kryukov N. E., Usoltsev A. A., Mikhno A. R. Development of new welding flux with carbonfluorine additions useage. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 26, no. 3, pp.17-25.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 669

Вдовин К.Н., Данилюк К.А., Ячиков И.М.

Модифицирование металла при центробежном литье

Аннотация. Предложена математическая модель для одномерного внедрения тугоплавкой частицы сферической формы в жидкий металл. Проведено моделирование нагрева частиц карбида кремния при их внедрении в жидкий металл при разной дисперсности порошка.

Ключевые слова: центробежное литье, математическая модель, тугоплавкая частица, жидкий металл.

Центробежное литье является особой разновидностью литейной технологии. Оно отличается тем, что при заливке металла и его затвердевании (в отдельных случаях только при затвердевании) форма с металлом находится во вращении и испытывает действие центробежных сил [1≥3].

В области центробежного литья стальных заготовок актуальными являются задачи освоения крупносерийного и массового производства трубных заготовок из углеродистых сталей для проката из них труб наиболее ходовых сортовых размеров, а также освоения центробежного литья крупных стальных заготовок для нужд энергетики, химии и других отраслей промышленности.

Одним из примеров применения центробежного литья является литье двухслойных прокатных валков, которые в основном в настоящее время покупают за рубежом. Стойкость валков можно увеличить, например, совершенствованием химического состава чугуна, изменением конструкции бочки, при этом можно использовать модифицирование. Особенно удобно проводить его в центробежном литье путем подачи дисперсных частиц, которые равномерно распределяются на заданном расстоянии в рабочей поверхности валка.

В дисперсионно-упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в них дислокаций. Высокой прочности достигают при размере частиц 10 - 500 нм при среднем расстоянии между ними 100 - 500 нм и равномерном распределении их в матрице [4≥6].

В настоящее время наиболее широко представлены такие нано-материалы: металлов и сплавов, оксидов (кремния, железа, сурьмы, алюминия, титана), ряда карбидов, и есть возможность их применения при центробежном литье трубных заготовок.

Ранее процесс модифицирования металла рабочего слоя прокатного валка проводили в два этапа,

© Вдовин К.Н., Данилюк К.А., Ячиков И.М., 2018

первый из которых состоял во взаимодействии металла в начальный период его слива с модификатором FeSiBa65, помещенным на дно ковша, а второй – в подаче на струю металла модификатора FeSiBa65 в конце слива [7], но оба процесса не увенчались успехом, так как все частицы модификатора в конечном итоге были на поверхности рабочего слоя бочки валка. Поэтому предложено подать модификатор непосредственно в жидкий металл, образующий поверхность валка, при заливке прокатного валка центробежным способом.

В ЗАО «МЗПВ» (Магнитогорский завод прокатных валков) все попытки внедрения частиц модификаторов в центробежно-литой валок заканчивались тем, что весь модификатор концентрировался на поверхности валка, тем самым не обеспечив необходимого качества. Такие эксперименты чрезвычайно дороги и вызывают большие сложности с организацией производства, поэтому перед тем, как проводить эксперимент, целесообразно выявить все необходимые параметры внедрения частиц модификатора в рабочий слой валка при помощи математического моделирования.

Создали математическую модель и компьютерную программу, позволяющую для инженерной практики определять важные параметры процесса внедрения дисперсных и мелкодисперсных тугоплавких порошков в расплав жидкого металла во вращающейся форме.

По этой модели создана компьютерная программа «Гидродинамика и ТМО внедрения твердой частицы в расплав» в среде Mathcad 14, позволяющая проводить компьютерное моделирование внедрения тугоплавких частиц в расплав и их тепловое состояние с учетом намораживания и расплавления на их поверхности твердой корочки.

Проведено моделирование внедрения частиц карбида кремния в стальной расплав и их теплового состояния при $T_0=30$ °C; $T_m=1200$ °C; $T_k=1100$ °C. Теплофизические свойства жидкой стали принимали:

$\rho_m = 7000 \text{ кг/м}^3$; $V_m = 0,7 \text{ мм}^2/\text{с}$; $c_m = 840 \text{ Дж}/(\text{кг град})$; $\lambda_m = 34,8 \text{ Вт}/(\text{м град})$; $\sigma_m = 1,8 \text{ Н/м}$; $L = 2,72 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$; твердой стали - $\rho_t = 7800 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_t = 40 \text{ Вт}/(\text{м град})$. Теплофизические параметры материала частицы задавали как среднеинтегральные для рабочего диапазона температур [8]: $\rho_c = 3032 \text{ кг/м}^3$; $c_c = 1146 \text{ Дж}/(\text{кг град})$; $\lambda_c = 18,52 \text{ Вт}/(\text{м град})$.

Путем моделирования получены зависимости максимальной глубины проникновения порошка карбида кремния в расплав (рис. 1) и кинетики его нагрева (рис. 2) от диаметра частиц.

для рабочего диапазона температур [8]: $\rho_c = 3032$

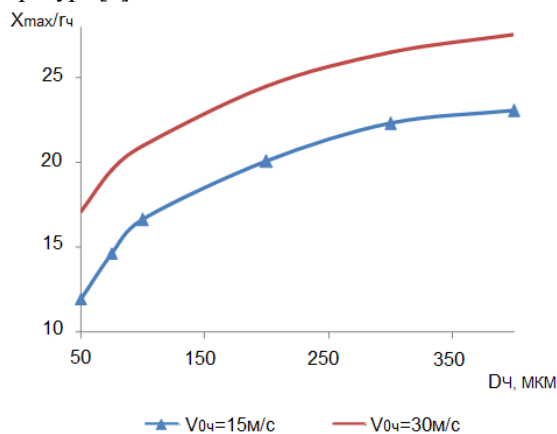


Рис. 1. Зависимость максимальной глубины проникновения частицы в расплав от диаметра при разной ее начальной скорости

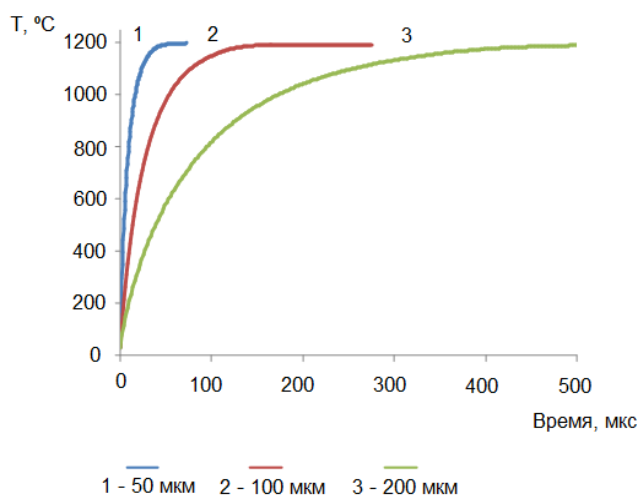


Рис. 2. Зависимость температуры частицы от времени пребывания в расплаве при разных ее диаметрах

С помощью компьютерного моделирования получены зависимости максимальной глубины проникновения порошка карбида кремния в расплав (см. рис. 1) и кинетики его нагрева (см. рис. 2) от диаметра частиц. Из этих рисунков видно, что диаметр частиц и их начальная скорость существенно влияют на гидродинамические и тепловые характеристики. Соответственно, чем больше

начальная скорость частицы, тем глубже она проникает в расплав, а также чем меньше частица модификатора, тем быстрее она достигает максимальной температуры расплава.

Проверку адекватности модели можно осуществить на устройстве для центробежного литья трубной заготовки (рис. 3), [9].

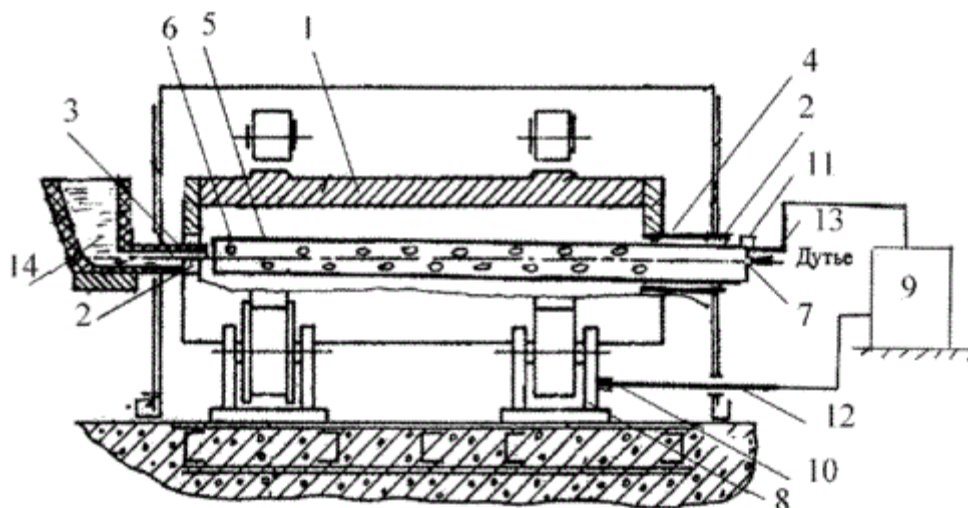


Рис. 3 Устройство для центробежного литья трубной заготовки

Заявляемое устройство работает следующим образом: дозатор 5, выполненный в виде трубопровода, устанавливают внутри по оси изложницы 1 устройством перемещения. Затем изложницу 1 приводят в движение посредством электродвигателя, обеспечивая ее вращение на заданных оборотах. Металл 14 поступает из ковша в заливочное устройство и по каналу 3 перетекает во вращающуюся изложницу 1, где распределяется по окружности внутренней части изложницы 1 под действием центробежной силы. Одновременно с этим включают источник высоковольтного напряжения 9. Высоковольтное напряжение от источника питания 9 подается через кабели 12 и 13 и разъемы 10 (анод) и 11 (катод) к дозатору 5. В это же время через отверстие 7 в дозаторе 5 вдувают дисперсные частицы. Дисперсные частицы электрически заряжаются и, выходя из перфорированных отверстий 6 дозатора 5, попадают под действие сил, вызываемых электрическим полем между анодом 10 и катодом 11, движутся в сторону жидкого металла 14. Под действием кулоновских сил дисперсные частицы отталкиваются друг от друга, равномерно распределяясь по всему объему заливаемого металла как с внешней, так и с внутренней поверхностей, обеспечивая повышенные прочностные свойства изготавливаемой трубной заготовки.

Заключение

1. Создали математическую модель и компьютерную программу, позволяющую для инженерной практики определять важные параметры процесса внедрения дисперсных и мелкодисперсных тугоплавких порошков в расплав жидкого металла во вращающейся форме.

2. С помощью компьютерного моделирования получили зависимости максимальной глубины проникновения порошка карбида кремния в расплав и кинетики его нагрева от диаметра частиц.

3. Разработали устройство для центробежного

литья трубной заготовки.

Список литературы

1. Состояние и перспективы развития вальцелитейного производства/ Котешев Н.П., Будагьянц Н.А., Лушпа А.А. и др. // Сталь. 1999. №8. С. 40-42.
2. Улучшение технологии изготовления прокатных валков в ОАО «ММК» /Цыбров С.В., Науменко В.Д., Авдиенко А.В. и др. // Электromеталлургия. 2007. №7. С. 28-31.
3. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. М.: Машиностроение, 1972. 280 с.
4. Прокатные валки: монография /Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М., Цыбров С.В./ Магнитогорск: МГТУ, 2005. 543 с.
5. Yachikov I., Vdovin K., Danilyuk K., Feoktistov N. Simulation of hydrodynamics and heat transfer in implementation of hard particles in metal melt. CIS Iron and Steel. 2014, №1, pp. 25-29.
6. Портной К.И., Бабич Б.Н. Дисперсно-упрочненные материалы. М.: Metallurgy, 1974. 199 с.
7. Цыбров С.В. Технологические основы производства композитных сортопрокатных валков повышенной стойкости с применением центробежного литья : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.16.04 / Цыбров Сергей Васильевич; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. ин-т технологии машиностроения]. Москва, 2012. 50 с.
8. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. 356 с.

9. Пат. 175662 РФ, МПК В 22 D 13/02 Устройство для центробежного литья трубной заготовки / Вдовин К.Н., Ячиков И.М., Феоктистов Н.А., Данилюк К.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Магнитогорский

государственный технический университет им. Г.И. Носова» (RU). – 2017106809; заявл. 02.03.2017; опубл. 13.12.2017. Бюл. № 35. 4 с.: ил.

Сведения об авторах

Вдовин Константин Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: vdovin@magtu.ru.

Данилюк Кирилл Александрович – бригадир на участках основного производства, копровый цех, ПАО «ММК», Магнитогорск, Россия. E-mail: kirilldan2008@rambler.ru.

Ячиков Игорь Михайлович – д-р техн. наук, проф., кафедры вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: Jachikov@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MODIFYING OF METAL AT CENTRIFUGAL CASTING

Vdovin Konstantin Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the department of Materials Science and foundry, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: vdovin@magtu.ru.

Danilyuk Kirill Aleksandrovich – the foreman on sites of the main production, scrap yard, Magnitogorsk Iron & Steel Works, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: kirilldan2008@rambler.ru.

Yachikov Igor Mikhaylovich – D.Sc. (Eng.), Professor of department of computer facilities and programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: Jachikov@mail.ru.

Abstract. *The mathematical models for the introduction of a one-dimensional refractory spherical particles in the liquid metal. The simulation of the heating of silicon carbide particles at their introduction into the steel melt at different fineness of the powder.*

Keywords: *centrifugal casting, mathematical model, refractory particles, molten metal.*

Ссылка на статью

Модифицирование металла при центробежном литье / Вдовин К.Н., Данилюк К.А., Ячиков И.М. // Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 26-29.

Vdovin K. N., Danilyuk K.A., Yachikov I. M. Modifying of metal at centrifugal casting. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 26, no. 3, pp.26-29.

УДК 621.742

Илларионов И. Е., Гильманшина Т. Р., Ковалева А. А., С. И. Лыткина, С. А. Худоногов

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО ГРАФИТА, ПРОШЕДШЕГО ХИМИЧЕСКУЮ И ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКУЮ АКТИВАЦИЮ

Аннотация. Целью данной работы являлось исследование физико-химических свойств природных и активированных различными способами литейных скрытокристаллических графитов. В ходе работы установлено, что в процессе химической и химико-механической активации, средний размер частиц графита изменяется с 14,8 до 12,3 и 6,8 мкм соответственно. Элементный состав существенно зависит от технологии химической активации графита. Содержание кальция уменьшается в 2,5–6,0 раз, а серы в графите окисления- возрастает в 2,5–5,0 раз в зависимости от типа окислителя, железа – в 2,0–2,5 раза, при этом в ходе химической активации соединения серы (пирит, пирротин и халькопирит) под действием окислителя переходят в комплексные соединения переменного стехиометрического состава. Содержание остальных элементов существенно не изменяется. Результаты исследований структуры показали, что при обработке графита наблюдается увеличение ширины характерного пика, что свидетельствует о насыщении структуры графита дефектами упаковки слоев за счет внедрения в нее атомов окислителя (межплоскостное расстояние у химически активированного графита увеличивается с 0,3344 до 0,3349 нм). Однако сами слои остаются без изменения, т.е. структура графита не насыщается дефектами связи в углеродных сетках, поэтому увеличения степени аморфизации графита в ходе химической активации не наблюдается. У механохимического и химико-механически активированных графитов гексагональная решетка переходит в ромбоэдрическую (межплоскостное расстояние увеличивается с 0,3364 до 0,3371 нм). Форма и микрорельеф в процессе активации не изменяются. Такие параметры гарантируют высокие свойства противопригарных покрытий, например, седиментационную устойчивость, проникающую и кроющую способности.

Ключевые слова: графит, химическая активация, химико-механическая активация, средний размер частиц, фракционный состав, форма частиц, микрорельеф частиц, элементный состав, фазовый состав, структура.

Введение

Одним из наиболее эффективных материалов, применяемых в качестве наполнителя изделий для литейного производства, является скрытокристаллический графит, основные запасы которого сосредоточены в Красноярском крае [1, 2]. Основными качественными показателями графита являются зольность и тонина помола. Кроме этого предъявляют еще дополнительные требования на ограниченное содержание железа, серы, меди и летучих [3–18 и др.].

В результате теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» на кафедре литейного производства под руководством д-ра техн. наук Л.И. Маминой, основано научное направление по механической активации исходных формовочных материалов, в рамках которого подтверждена перспективность использования природного скрытокристаллического графита в качестве наполнителя противопригарных покрытий [19].

В своих работах [2, 19, 20, 21 и др.] Л. И. Мамина показала, что измельчение на уровне механоактивации скрытокристаллического графита позволяет повысить не более чем на 4–5 % выход чистого углерода и снизить не более чем на 5–6 % содержание зольных остатков, что не отвечает современным требованиям, предъявляемым к углеродистым материалам литейным производством.

Известны и другие технологии повышения качества природного графита. Например, традиционная схема обогащения графитовой руды предусматривает дробление, измельчение, черновую флотацию, многостадийное доизмельчение чернового концентрата с последующей флотацией [22].

В ОАО «Завальевский графитовый комбинат» (Украина), являющимся основным поставщиком кристаллического графита промышленного назначения, был разработан способ обогащения, который включал спекание графита с кальцинированной содой при 800–900 °С с последующим водным выщелачиванием и химическое обогащение растворами кислот [23].

Однако применение всех этих технологий не позволило получать высококачественные графиты из-

за тесного срастания графитовых частиц с нерудными минералами, поэтому необходимо разрабатывать другие технологии повышения качества графита, например, химическую активацию [2].

Целью данной работы являлось исследование физико-химических свойств природных и активированных различными способами литейных скрытокристаллических графитов.

Методическая часть

Для исследований выбран природный графит Курейского месторождения скрытокристаллического типа, основным минералом в котором является графит, второстепенными – нерудные минералы, сульфиды и углистое вещество. Нерудные минералы представлены кварцем, полевым шпатом, кальцитом, хлоритом [2, 22, 24, 25].

Для получения химически активированного графита использовали метод жидкофазного интеркалирования в присутствии серной кислоты [26, 27].

С целью увеличения активности частиц химически активированного графита его подвергали механоактивации в планетарно-центрибежной мельнице АГО-2 при оптимальных режимах [2, 28, 29].

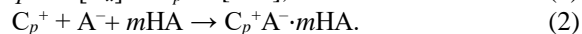
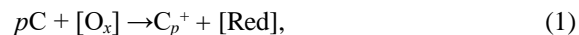
Для изучения элементного и фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр XRD-7000, описание которого приведено в работе [30].

Размер частиц определяли методом светолазерного рассея на анализаторе размеров частиц FRITTSCHAN ALYSETTE 22 MicroTec PLUS, описание которого приведено в работе [31], и находящегося лаборатории дисперсных и наноструктурированных твердых, вязких и коллоидных материалов им. Л.И. Маминаой ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Экспериментальная часть

В графите, как и в ряде других кристаллических структур, связь атомов внутри слоя прочная, но сами слои связаны более слабыми силами, вандерваальсовыми. В такие слоистые кристаллы можно ввести дополнительные атомы или молекулы, которые раздвигают слои исходного кристалла. В результате образуются структуры, состоящие из чередующихся исходных слоев и новых слоев введенных атомов или молекул. Эти соединения называются *интеркалированными соединениями внедрения*, сам процесс введения дополнительных групп – *интеркалированием*, вещества, внедренные в межплоскостное пространство графита, – *интеркалятом* [27].

Химическая модель образования интеркалированных соединений графита предполагает осуществление сопряженных реакций окисления внедрения [34–37]:



При интеркаливании всегда происходит значительное (в 2–3 раза) увеличение расстояния между графитовыми слоями и может нарушиться порядок чередования слоев, характерный для монокристаллического графита. Образуется новая периодическая структура в направлении тригональной оси – ступень (номер ступени n равен количеству монослоев между ближайшими моноатомными или мономолекулярными слоями интеркалята (рис. 1)) [34–37].

Аморфизацию решетки и дефектность структуры оценивали косвенно по интенсивности и ширине характерных пиков на рентгенограммах, снятых на дифрактометре ДРОН-3, характеристики которого приведены в раоте [32].

Форму и микрорельеф частиц определяли на электронном микроскопе просвечивающего типа УЭЛК-100К, описанном в работе [33].

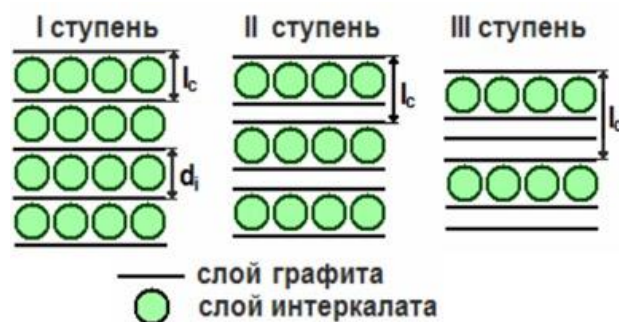


Рис. 1. Строение интеркалированных соединений графита [34]

Новая сверхрешетка характеризуется периодом идентичности, который варьируется в пределах 0,8–3,0 нм. Меняя периодичности интеркалированных соединений, можно управлять их составом и физико-химическими свойствами, что позволяет получать материалы с заданными характеристиками [34–37].

Таким образом, определяющую роль в процессе получения химически активированного графита играют интеркалирование и гидролиз, осуществляемые путем обработки графита без разрушения его матрицы [27, 38, 39].

Микрорельеф частиц графита, химически активированного серной кислотой, показан на рис. 2, элементный состав графита приведен в табл. 1.

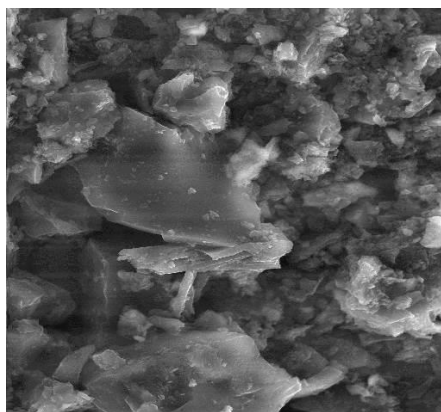


Рис. 2. Микрорельеф частиц графита, активированного серной кислотой, ×1 500

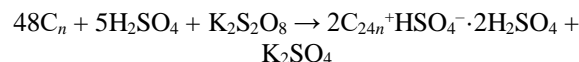
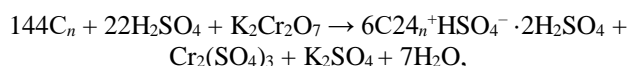
Таблица 1

Элементный состав химически активированного графита

Элемент	Содержание элемента, мас. %	Элемент	Содержание элемента, мас. %
Fe	0,85	Al	1,80
Mn	0,02	Ti	1,30
Ca	0,70	S	5,40
K	0,65	Si	6,70
Mg	0,60		

Главными особенностями процесса окисления графита серной кислотой является многоступенчатость процесса в присутствии окислителя. Серная кислота, как и большинство других интеркалируемых кислот, отличается низким окислительным потенциалом и не способна самостоятельно обеспечить отбор электронов с графитовой сетки. Поэтому возникает необходимость сопряжения реакций окисления и внедрения (наличие интеркалята (кислоты) и окислителя [O_x]).

Взаимодействие графита с серной кислотой в присутствии химических окислителей в работе [40] описано следующими химическими реакциями:



Представленные на рис. 3 результаты свидетельствуют о том, что серная кислота находится в химически активированном графите в растворенном состоянии.

На глубину протекания реакции (степень окисления графитовой матрицы) существенное влияние оказывает природа окислителя. Поэтому было исследовано влияние следующих окислителей на свойства скрытокристаллического графита: персульфата калия – П [41]; бихромата калия – БК [42, 43].

Результаты исследования элементного состава графитов приведены в табл. 2.

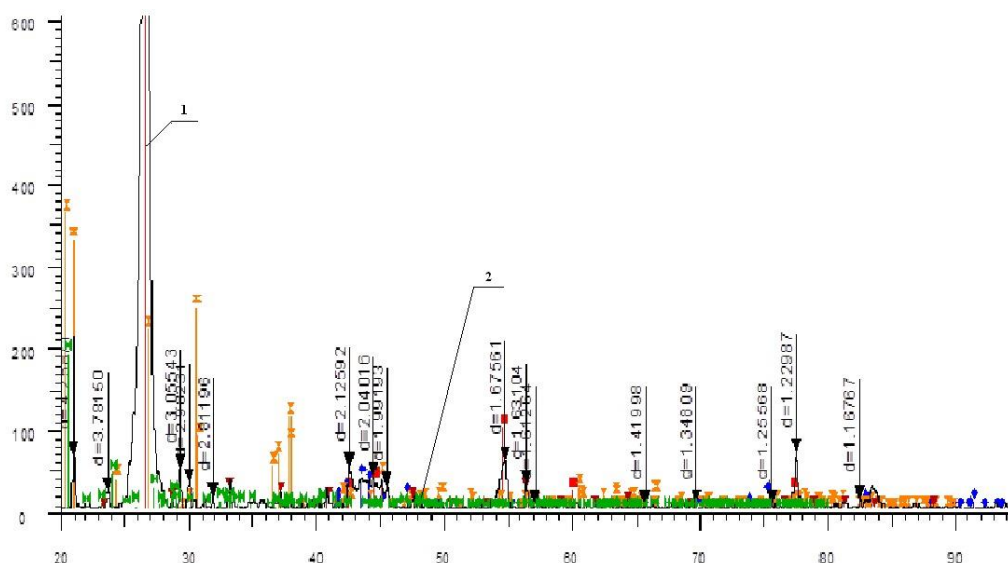


Рис. 3. Фазовый состав интеркалированного графита:
линия 1 – графит; линия 2 – оксид серы (SO₂)

Таблица 2

Элементный состав графитов

Способ обработки	Марка графита	Содержание элемента, мас.%									
		Mn	Zn	Ti	Al	Fe	Ca	S	Si	K	Mg
Без обработки	ГЛС-2(К)	0,08	0,02	0,17	2,60	2,10	2,40	0,75	4,50	0,65	0,55
П	ГЛС-2О(К)	0,06	0,04	0,16	2,50	0,90	0,40	1,90	4,40	0,80	0,30
БК	ГЛС-2О(К)	0,06	0,02	0,09	2,70	0,80	0,95	3,80	9,50	0,90	0,35

Из представленных данных видно, что элементный состав существенно зависит от технологии химической активации графита. Содержание кальция уменьшается в 2,5–6,0 раз в зависимости от типа окислителя, железа – в 2,0–2,5 раза. Снижение содержания этих элементов можно объяснить тем, что они активно реагируют с серной кислотой с образованием водорастворимых соединений, удаляемых из графита при обработке его водой. Содержание кремния и калия, входящих в состав силикатных пород и полевых шпатов, увеличивается. Из контролируемых элементов от типа окисления наиболее сильно зависит содержание серы. Так, содержание серы в графите, обработанном по технологии БК, после окисления возрастает в 5,0 раз, а по технологии П – в 2,5 раза. Содержание остальных элементов существенно не изменяется.

показали, что при обработке графита по данным технологиям наблюдается увеличение ширины характерного пика и смещение его в сторону меньших углов.

Увеличение ширины характерного пика можно объяснить тем, что в процессе окисления структура графита насыщается дефектами упаковки слоев за счет внедрения в нее атомов окислителя. Однако сами слои остаются без изменения, т.е. структура графита не насыщается дефектами связи в углеродных сетках, поэтому увеличения степени аморфизации графита не наблюдается. Смещение основного пика в сторону меньших углов свидетельствует об увеличении межпакетного расстояния. Наибольшее смещение пиков наблюдается у графитов, окисленных по технологиям П и БК, и составляет 0,5°.

Результаты исследований структуры (рис. 4 и 5)

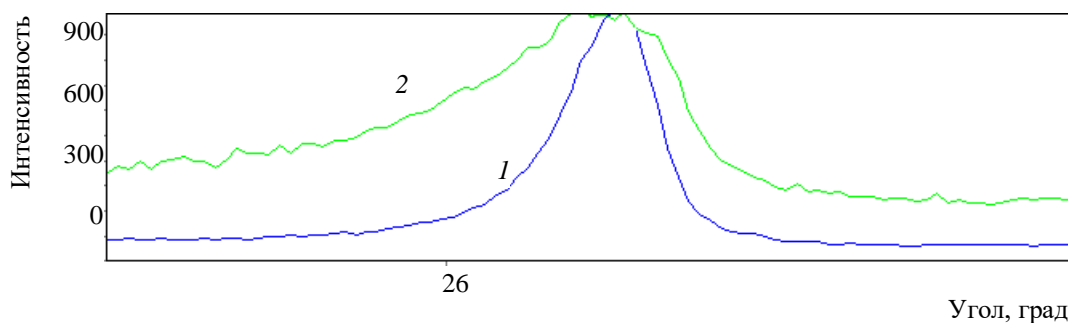


Рис. 4. Характерные пики на рентгенограммах природного (1) и химически активированного по технологии БК (2) графита

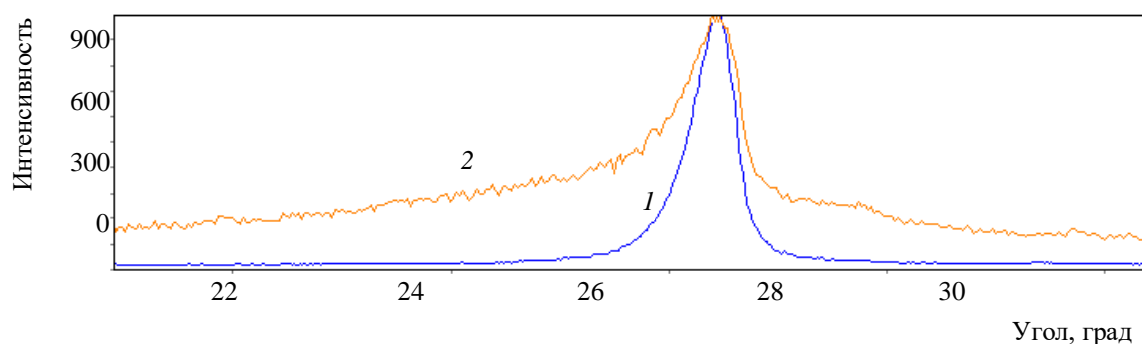
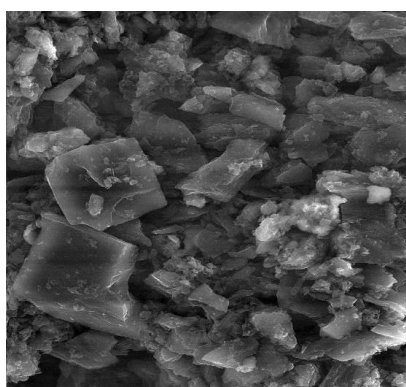


Рис. 5. Характерные пики на рентгенограммах природного (1) и химически активированного по технологии П (2)

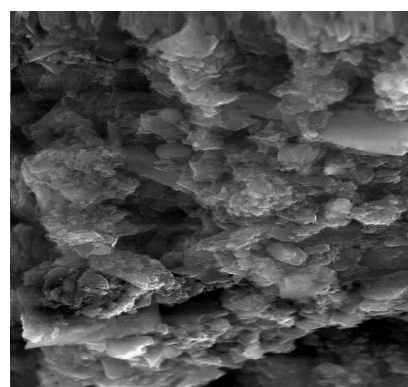
Форма и микрорельеф частиц исходных и химически активированных графитов показаны на рис. 6–8. Так же как и природный, химически активированный графит – материал со сложной формой частиц. Поверхность частиц шероховатая, на ней в большом количестве присутствуют ультрадисперсные частицы.

Используя данные результаты исследований, была разработана технология получения

С его увеличения активности частиц химически активированного графитаго подвергали механоактивации в планетарно-центрибежной мельнице АГО-2 при оптимальных режимах (рис. 9).

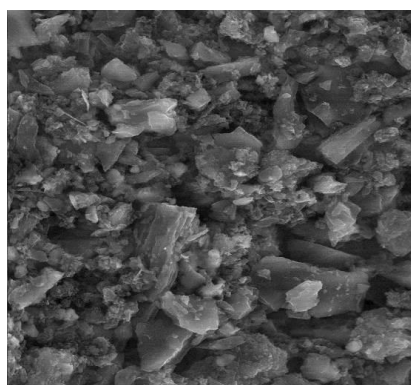


a

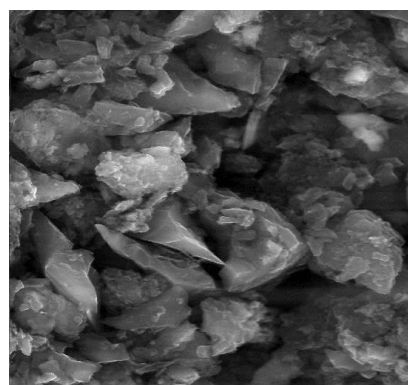


б

Рис. 6. Форма и микрорельеф частиц природного графита. Увеличение: *a* – $\times 1500$; *б* – $\times 4000$



a



б

Рис. 7. Форма и микрорельеф частиц химически активированного графита по технологии БК.

Увеличение: $a - \times 1\ 500$; $b - \times 4\ 000$

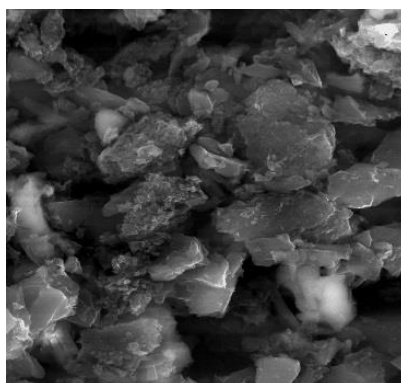


Рис. 8. Форма и микрорельеф частиц графита ГЛС-2О(К), химически активированного по технологии П. Увеличение: $a - \times 1\ 500$; $b - \times 4\ 000$

Средний размер частиц графитов марок ГЛС-2(К) и ГЛС-2О(К) соответственно составляет 14,8 и 12,3 мкм, у механоактивированного и химико-механически активированного – 9,8 и 6,8 мкм. Размер

частиц у химико-механически активированного графита в 2 раза меньше, чем у природного. Фракционный состав природного и активированного графитов показан на рис. 10, 11.

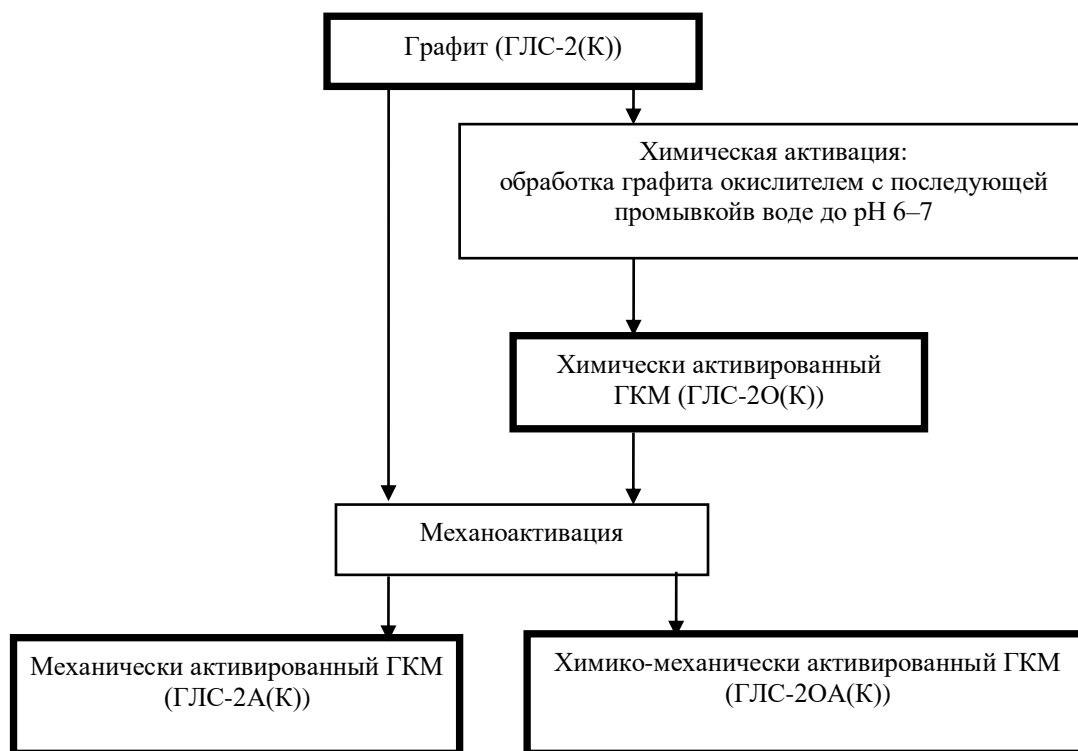


Рис. 9. Технология получения химически и химико-механически активированного графита

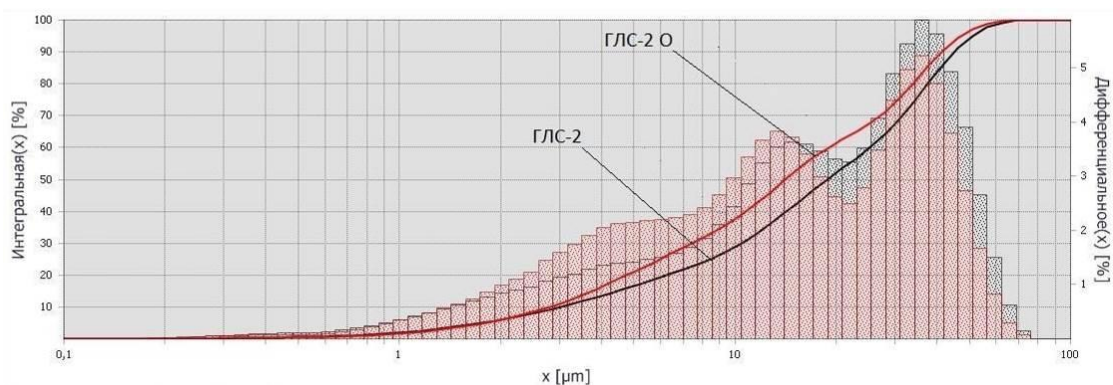


Рис. 10. Фракционный состав природного (ГЛС-2(К)) и химически активированного (ГЛС-2О(К)) графитов

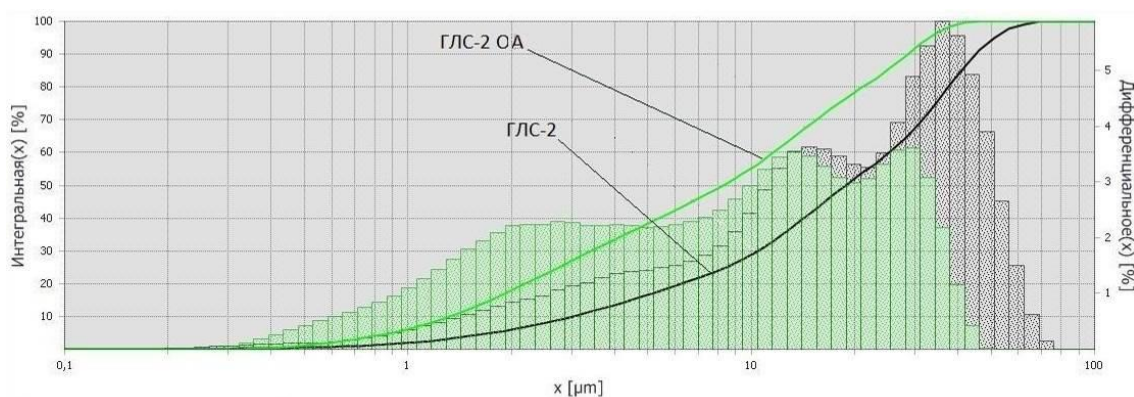


Рис. 11. Фракционный состав природного (ГЛС-2(К)) и химико-механически активированного (ГЛС-2ОА(К)) графитов

Исследования элементного состава графитов ГЛС-2(К) и ГЛС-2О(К) показали, что после химической активации в составе графита значительно снижается содержание железа, магния и кальция, содержание серы увеличивается в 2 раза, содержание других элементов существенно не меняется. При механоактивации существенного изменения элементного состава не происходит (рис. 12).

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что механоактивация не изменяет фазового состава графита; при химической активации сульфитные соединения серы (например, пирит) под действием окислителя переходят в комплексные соединения переменного стехиометрического состава (рис. 13, 14, табл. 3).

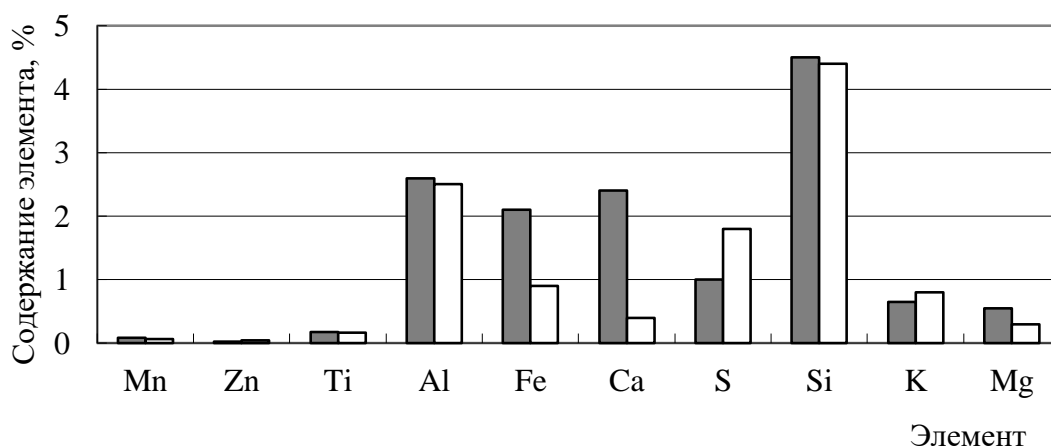


Рис. 12. Элементный состав природного (■) и химически активированного (□) графитов

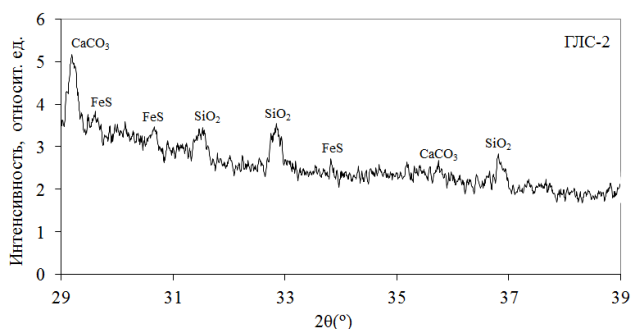


Рис. 13. Дифрактограмма природного графита ГЛС-2(К)

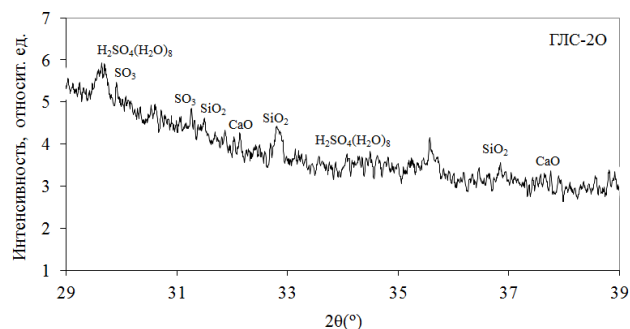


Рис. 14. Дифрактограмма химически активированного графита ГЛС-2О(К)

Таблица 3

Фазовый состав графитов

Марка графита	Основные фазы
ГЛС-2(К)	Кварц, кальцит, пирит (или сульфит железа)
ГЛС-2А(К)	
ГЛС-2О(К)	Кварц, оксид кальция, сульфат железа, комплексное соединение углерода, водорода, серы
ГЛС-2ОА(К)	

Таблица 4

Параметры структуры активированного различными методами ГКМ

Параметр	Марка графита			
	ГЛС-2(К)	ГЛС-2А(К)	ГЛС-2О(К)	ГЛС-2ОА(К)
Тип сингонии	<i>P6₃/mmc</i>	<i>R-3m</i>	<i>P6₃/mmc</i>	<i>R-3m</i>
Межплоскостное расстояние, нм	0,3344	0,3349	0,3364	0,3371

Исследование структурных параметров показало, что для графита ГЛС-2(К) характерна гексагональная решетка. Химическая активация не меняет типа сингонии, но из-за внедрения соединений серы в слои графита наблюдается незначительное увеличение межплоскостного расстояния (с 0,3344 до 0,3349 нм). У графитов ГЛС-2А(К) и ГЛС-2ОА(К) гексагональная решетка переходит в ромбоэдрическую (межплоскостное расстояние увеличивается с 0,3364 до 0,3371 нм) (табл. 4).

Такие параметры гарантируют высокие свойства противопопригарных покрытий, например седиментационную устойчивость, проникающую и кроющую способности [44–46].

Заключение

В ходе работы установлено, что в процессе химической и химико-механической активации соответственно средний размер частиц графита изменяется с 14,8 до 12,3 и 6,8 мкм. Элементный состав существенно зависит от технологии химической активации графита. Содержание кальция уменьшается в 2,5–6,0 раз в зависимости от типа окислителя, железа – в 2,0–2,5 раза. Содержание серы в графите окисления возрастает в 2,5–5,0 раз, при этом в ходе химической активации сульфитные

соединения серы (пирит, пирротин и халькопирит) под действием окислителя переходят в комплексные соединения переменного стехиометрического состава. Содержание остальных элементов существенно не изменяется. Результаты исследований структуры показали, что при обработке графита наблюдается увеличение ширины характерного пика, что свидетельствует о насыщении структуры графита дефектами упаковки слоев за счет внедрения в нее атомов окислителя (межплоскостное расстояние у химически активированного графита увеличивается с 0,3344 до 0,3349 нм). Однако сами слои остаются без изменения, т.е. структура графита не насыщается дефектами связи в углеродных сетках, поэтому увеличения степени аморфизации графита в ходе химической активации не наблюдается. У графитов механохимического и химико-механически активированных графитов гексагональная решетка переходит в ромбоэдрическую (межплоскостное расстояние увеличивается с 0,3364 до 0,3371 нм). Форма и микрорельеф в процессе активации не изменяется. Такие параметры гарантируют высокие свойства противопопригарных покрытий, например седиментационную устойчивость, проникающую и кроющую способности.

Список литературы

1. Обогащение графитовой руды Курейского месторождения /Смирнов О.М., Крушенко Г.Г., Щипко М.Л. и др. // Обогащение руд. 1999. № 1–2. С. 19–22.
2. Способы повышения качества литейного графита отдельными и комплексными методами активации /Мамина Л.И., Гильманшина Т.Р., Новожинов В.И. и др. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2011. 160 с.
3. Формовочные материалы и смеси /Дорошенко С.П., Русин К., Авдокушин В.П., Мацашек И. К.: Выща шк., 1990. 415 с.
4. Формовочные материалы и технология литейной формы /Жуковский С.С., Анисович Н.И. и др. М.: Машиностроение, 1993. 432 с.
5. Знаменский Л.Г., Ивочкина О.В., Кулаков Б.А. Электроимпульсные нанотехнологии в литейных процессах // Литейщик России. 2006. № 9. С. 8–14.
6. Гушин В.А., Чегулина В.А., Загребина К.П. Требования к углеродистым наполнителям для противопопригарных покрытий // Литейное производство. 1981. № 1. С. 34–35.
7. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия /Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. М.: Машиностроение, 2006. 507 с.
8. Nwaogu U.C., Tiedje N.S. Foundry Coating Technology: A Review // Materials Sciences and Application. 2011. № 2. P. 1143–1160.
9. Foundry coating [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.spspb.ru/uploaded/docs/foundry%20coating%20en.pdf>.
10. Pat. 20130032689 US. Foundry coating composition / Martinus Jacobus Haanepen, Frederik Willem Von Piekartz, Yvonnevon Piekartz-Lutgendorff; заявитель и патентообладатель Fosco International Limited. 13/322,836; заявл. 15.02.11; опублик. 07.02.13.
11. Brown J.R. The Fosco Ferrous Foundryman's Handbook. Oxford et al.: Pergamon press, 2000. 371 p.
12. Sogabe T., Inagaki M., Ibuki T. Coating of Graphite by Polyimide and Its Gas Permeability // Carbon. 1992, no. 3 (30), pp. 513–516.
13. Дорошенко С.П. Получение отливок без пригара в песчаных формах. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
14. Кваша Ф.С. Дефект отливок «складчатость» и способы его предотвращения // Литейное производство. 2002. № 11. С. 34, 35.
15. и др. Формирование качества поверхности литейной формы и отливок /Илларионов И.Е., Шалунов Е.П., Стрельников И.А.// Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: мат-лы II-й Республиканской научно-практической конференции. Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», 2016. С. 44–51.
16. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 1992. Ч. 1. 223 с.
17. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 1995. Ч. 2. 288 с.
18. Металлофосфатные связующие и смеси /Илларионов И.Е., Гамов Е.С., Васин Ю.П., Чернышев Е.Г. Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 1995. 524 с.
19. Мамина Л.И. Теоретические основы механоактивации формовочных материалов и разработка ресурсосберегающих технологических материалов процессов в литейном производстве: дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 1989. 426 с.
20. Получение графитсодержащих наноструктурированных материалов и композиций для литейного производства /Баранов В.Н., Гильманшина Т.Р., Мамина Л.И. и др. // Литейщик России. 2011. № 10. С. 42–45.
21. Наноструктурированные графитсодержащие изделия /Мамина Л.И., Баранов В.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2013. 268 с.
22. Брагина В.И., Брагин В.И. Обогащение нерудных полезных ископаемых. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1995. 100 с.
23. Технология получения малозольного графита /Шохин В.Н., Есепкин В.А. и др.// Графиты и их применение в промышленности : сб. тр. М.: Общество знаний РСФСР, Моск. дом науч.-техн. пропаганды, 1974. С. 68–71.
24. Мамина Л.И., Королева Г.А., Гильманшина Т.Р. Перспективные способы обогащения графита // Литейное производство. 2003. № 2. С. 16–18.
25. Химико-механическая подготовка скрытокристаллического графита к дальнейшей переработке /Гильманшина Т.Р., Лыткина С.И., Жереб В.П., Королева Г.А. // Обогащение руд. 2016. № 2 (362). С. 14–19.
26. Лыткина С.И. Разработка и исследование противопопригарных покрытий для чугунного литья на основе химически и механохимически активированных графитов: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2013. 132 с.
27. Интеркалирование соединения [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://femto.com.ua/articles/part_1/1386.html.
28. Баранов В.Н. Активация графита различного кристаллохимического строения для огнеупорных изделий и красок в литейном

- производстве: дис. . канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 131 с.
29. Влияние времени активации на параметры структуры графита / Гильманшина Т.Р., Мамина Л.И., Аникина В.И. и др. // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. № 3. С. 21–25.
 30. Рентгеновский дифрактометр XRD-7000 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://www.shimadzu.ru/sites/default/files/xrd-7000-flyer-07.2016.pdf>
 31. Лазерные приборы для измерения размера частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://gnr-nord.ru/_assets/brands/fritsch/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_Fritsch_Analysette_22.pdf
 32. Дифрактометр рентгеновский ДРОН-3 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://kurs.znate.ru/docs/index-107235.html>
 33. Электронная микроскопия. Универсальный электронный микроскоп УЭМВ-100В [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.laboratorium.dp.ua/item/67>.
 34. Композиционные наноматериалы на основе интеркалированного графита / Сорокина Н.Е., Авдеев В.В., Тихомиров А.С. и др. / М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Научно-образовательный центр по нанотехнологиям, 2010. 50 с.
 35. Melezhyk A.V., Tkachev A.G. Synthesis of graphene nanoplatelets from peroxosulfate graphite intercalation compounds // *Nanosystems: physics, chemistry, mathematics*. 2014, no. 5 (2), pp. 294–306.
 44. патентообладатель Мариупол. металлург. ин-т (RU) – №4471141/26; заявл. 01.07.88; опубл. 27.08.95.
 45. Исследование свойств противопригарных покрытий для чугунного литья на основе химически и механохимически активированных графитов / Гильманшина Т.Р., Бабкин В.Г., Баранов В.Н. и др. // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 9. С. 7–11.
 36. Максимова, Н. В. Интеркалирование графита в системах C-HNO₃-R, где R=CH₃ COOH, H₃PO₄, H₂SO₄: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2002. 26 с.
 37. Дунаев А., Шапоров А. Богатое семейство углеродных материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.modificator.ru/articles/carbon_mat2.html.
 38. Celzard A., Mareche J.F., Furdin G. Modelling of exfoliated graphite // *Progress in Materials Science*. 2005. Vol. 50, pp. 93–179.
 39. Furdin G. Exfoliation process and elaboration of new carbonaceous materials // *Fuel*. 1998, no. 6 (77), pp. 479–485.
 40. Сорокина Н.Е. Интеркалированные соединения графита с кислотами: синтез, свойства, применение: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 2007 46 с.
 41. А. с. no 1786780 А1 СССР, МПК С 01 В 31/04. Окисленная смесь для получения расширенного графита из высокодисперсных фракций природного графита.
 42. А. с. 1088253 СССР, МПК С 01 В 31/04. Способ получения расширенного графита / Шаталов А.Л., Кардашев Г.А., Антонов А.Н./ [и др.]; заявитель и патентообладатель Моск. ордена Трудового Красного Знамени ин-т хим. машиностроения, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т по защите металлов и коррозии (RU). No. 3449768/23-26; заявл. 29.03.82.
 43. А. с. 1727338 СССР, МПК С 01 В 31/04. Способ получения расширенного графита / Пустовалов Ю.П., Маслов В.А.; заявитель и
 46. Фазовые превращения в графитовых покрытиях и их влияние на чистоту поверхности отливок / Бабкин В.Г., Леонов В.В., Гильманшина Т.Р., Степанова Т.Н. // *Черные металлы*. 2017. № 10. С. 54–59.
 47. Свойства литейных суспензий на основе наноструктурированных графитов. Гильманшина Т.Р., Мамина Л.И., Баранов В.Н. и др. // *Литейное производство*. 2011. № 10. С. 31–35.

Сведения об авторах

Илларионов Илья Егорович - д-р техн. наук, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова». Чебоксары, Россия. E-mail: tmilp@rambler.ru.

Гильманшина Татьяна Ренатовна - канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, Россия. E-mail: gtr1977@mail.ru.

Ковалева Ангелина Адольфовна - канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, Россия. Email: angeli-kovaleva@yandex.ru.

Лыткина Светлана Игоревна - канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, Россия. E-mail: svetka-lisa@mail.ru.

Худоногов Сергей Александрович - ст. преп. ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, Россия. E-mail: doktor63@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESEARCH ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FOUNDRY GRAPHITE PAST CHEMICAL AND CHEMICAL-MECHANICAL ACTIVATION

Illarionov Ilya Yegorovich - D. Sc (Eng.) Professor, head of department, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation. E-mail: tmlp@rambler.ru.

Gilmanshina Tatyana Renatovna- Ph. D (Eng.) associate professor, Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation. E-mail: gtr1977@mail.ru.

Kovaleva Angelina Adolfovna - Ph. D (Eng.) associate professor, Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation. E-mail: angeli-kovaleva@yandex.ru.

Lytkina Svetlana Igorevna - Ph. D (Eng.) associate professor, Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation. E-mail: svetka-lisa@mail.ru.

Khudonogov Sergei Aleksandrovich – Senior lecturer, Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation. E-mail: doktor63@yandex.ru.

Abstracts. *The purpose of this work was to study the physico-chemical properties of natural and activated by various methods foundry cryptocrystalline graphites. During the research it was established that in the process of chemical and chemical-mechanical activation the average particle size of graphite changed from 14,8 to 12,3 and 6,8 μm , respectively. The elemental composition essentially depends on the technology of chemical activation of graphite. The calcium content decreases by 2,5–6,0 times, sulfur content in the oxidated graphite increases by 2,5–5,0 times depending on the type of oxidant, iron – in 2,0–2,5 times, while in the course of chemical activation sulfur compounds (pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite) under the action of an oxidizing agent go into complex compounds of variable stoichiometric composition. Another elements content does not change significantly. The results of structural research showed that during graphite processing an increase in the width of the characteristic peak is observed, that indicates a saturation of the graphite structure by defects in packing layers due to the introduction the atoms of the oxidizer (the interplanar distance of chemically activated graphite increases from 0,3334 to 0,33349 nm). However, the layers themselves remain unchanged, i.e. graphite structure is not saturated with communication defects in carbon networks, so an increasing of graphite amorphization degree during chemical activation is not observed. The hexagonal lattice of mechanochemical and chemically-mechanically activated graphites, becomes rhombohedral (the interplanar spacing increases from 0,3364 to 0,3371 nm). The form and the microrelief during activation process does not change. Such parameters guarantee high properties of non-stick coatings, for example, sedimentation resistance, penetrating and covering abilities.*

Keywords: *Graphite, chemical activation, chemical-mechanical activation, medium particle size, fractional composition, particle shape, microrelief of particles, elemental composition, phase composition, structure.*

Ссылка на статью:

Исследования физико-химических свойств литейного графита, прошедшего химическую и химико-механическую активацию / Илларионов И. Е., Гильманшина Т. Р., Ковалева А. А., С. И. Лыткина, С. А. Худоногов // Теория и технология металлургического производства. 2018. №3(26). С. 30-40.

Illarionov I.Y., Gilmanshina T.R., Kovaleva A.A., Lytkina S.I., Khudonogov S.A. Research on physico-chemical properties of foundry graphite past chemical and chemical-mechanical activation. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 26, no. 3, pp.30-40.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала «*Теория и технология металлургического производства*» («*Teoriã i tehnologiã metallurgiĉeskogo proizvodstva*») (Аббревиатура: **Teor. tehnol. metall. proizv.**)
Периодичность издания – 4 раза в год.

Журнал зарегистрирован в Научной электронной библиотеке, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). ISSN 2311-5378. Не забывайте в библиографических ссылках статей указывать свои труды и труды Ваших коллег для повышения индекса научного цитирования и изданий в целом.

Журнал включает в себя следующие разделы:

1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.
2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.
3. Литейное производство.
4. Обработка металлов давлением.

Для публикации статьи в журнале необходимо представить *следующие материалы:*

- электронную версию статьи выслать по электронной почте;
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи;
- контактный E-mail: , контактный телефон, почтовый адрес для получения экземпляра журнала;
- адрес редакции Ленина пр., д. 38, г. Магнитогорск, 455000. Тел. (3519) 29-85-18, E-mail: TТаPEoMP@mail.ru; ttmp@magtu.ru.
- лицензионный договор на передачу прав

Авторам, представившим статьи для публикации, будет выслан один экземпляр журнала. Материалы, переданные в журнал, редакционной коллегией не возвращаются.

Статьи должны быть выполнены в текстовом редакторе MS Office Word 2007 и оформлены в соответствии со следующими требованиями:

- формат страницы – А4 (210x297мм), отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
- шрифт основного текста – Times New Roman размера 12 пунктов;
- межстрочный интервал – одинарный;
- отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 5 знаков (примерно 10 мм);
- формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается; размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов;
- горизонтальные страницы допускается оформить отдельно от вертикальных страниц статьи, они должны быть также формата А4;
- рисунки должны быть вставлены в текст;
- не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу;
- статья должна включать: УДК, авторов, название, аннотацию, ключевые слова, текст, список литературы, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в (**Приложении 1**).
- аннотация (*Abstracts*) (150-250слов), выполняется *курсивом* (*аннотация должна быть логически выстроена*);
- ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется *курсивом*;
- список литературы выполняется в соответствии с требованиями (пример оформления литературы приведен в (**Приложении 2**);
- сведения об авторах (*Information about authors*) должны включать: Ф.И.О. полностью, должность, место работы, ученая степень, ученое звание, контактный телефон, электронный и почтовый адреса;
- в конце статьи дается английская версия фамилий, инициалов авторов, названия статьи, авторского резюме, ключевых слов, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи. Использование электронного переводчика не допустимо.**

Пример оформления статьи

УДК 621.746.5.047

Столяров А.М., Шевченко Е.А.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЗКИХ ГРАНЕЙ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ*Аннотация. 150-250 слов**Ключевые слова: 5-15 основных терминов*

Текст статьи

Список литературы

Сведения об авторах

Stolyarov A.M., Shevchenko Y.A.

IMPROVING THE QUALITY OF NARROW FACES CONTINUOUS SLAB BILLET*Abstract. 150-250 words**Keywords: 5-15 basic terms**References:**Information about authors*

Пример оформления литературы

Список литературы

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27 – 30.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
3. Пат. 2061756 РФ, МПК С 21 В 7/00. Доменная печь / Курбацкий М.Н., Манаенко И.П., Монастырков В.П. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Товарищество с ограниченной ответственностью «Техника и технология» (RU). № 9305232/02; заявл. 18.11.93; опубл. 10.06.96, Бюл. № 16. 4 с.: ил.
4. Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Севернюк В.В. Работа воздушных фурм доменных печей. Днепропетровск: Пороги, 1997. 120 с.
5. Лукашов Г.Г., Савелов Н.И., Плискановский С.Т. Опыт работы доменных печей на воздушных фурмах различного диаметра // Сталь. 1972. № 7. С. 587-589.
6. Максимов Е.В, Альжанов М.К., Ержанов У.К. Влияние параметров фурмы на перепад газа в доменной печи. // Тез. докл. III Международного конгресса доменщиков. Новокузнецк, 1995. С.120.

На английском языке: Авторы (транслитерация). Название статьи на английском языке. Название журнала курсивом (транслитерация) [Название журнала на английском языке (если есть)]. Выходные данные на английском языке, либо цифровые.

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using “Mini whale” effect. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 24-26.

Ответственный по изданию журнала: канд. техн. наук. Тютеряков Н.Ш.

По всем вопросам обращаться по тел.: 89127739599, **либо по E-mail:** TТаPEoMP@mail.ru; ttmp@magtu.ru