

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 1 (18) 2016

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

Редакционный совет

Председатель ред. совета:

В. М. Колокольцев – проф., д-р техн. наук,
ректор ФГБОУ ВО «МГТУ»

Члены ред. совета:

К. Н. Вдовин – д-р техн. наук, проф.
ФГБОУ ВО «МГТУ»

К. К. Каскин – канд. техн. наук, проф.
Актюбинского государственного
университета, Казахстан

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

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

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

А. Карасев – доцент KTH Royal Institute
of Technology, Швеция

Райле Виктор – кандидат технических наук,
Германия

Главный редактор:

В. А. Бигеев – д-р техн. наук, проф.
ФГБОУ ВО «МГТУ»

Научный редактор:

И. В. Макарова – канд. техн. наук,
доц. ФГБОУ ВО «МГТУ»

Технический редактор:

М. В. Потапова – канд. техн. наук,
доц. ФГБОУ ВО «МГТУ»

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2016

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) 29-84-30. Факс (3519) 29-84-26

E-mail: m.irina1976@mail.ru; v.bigeev11@yandex.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: 24.06.2016. Заказ 306. Тираж 500 экз.

Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 1 (18) 2016

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

Editorial Board Members

Chairman:

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

Honorary Board Members:

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

K. K. Kaskin – Ph.D., Professor,
Akt'yubinsk State University,
Kazakhstan

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»

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

O. Ostrovski – D.Sc., Professor,
University of New South Wales, Australia

A. Karasev – Ph.D., Docent, KTH Royal
Institute of Technology, Sweden

Raile Wiktor – Bloom engineering (Europa),
GMBH

Editor-in-Chief:

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

Scientific Editor:

I. V. Makarova – Ph.D., Associate Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Technical Editor:

M. V. Potapova – Ph.D., Associate Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2016

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) 29-84-30. Fax: +7 (3519) 29-84-26
E-mail: m.irina1976@mail.ru; v.bigeev11@yandex.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: 24.06.2016. Order 306. Circulation: 500. Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ	5
Петухов В.Н., Кубак Д. А., Лахтин С.Н. Поиск эффективных реагентов для флотации углей на основе расчета основных квантово-химических характеристик комплексов «ОМУ – вода» и «ОМУ – реагенты»	5
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА	11
Спирин Н.А., Павлов А.В., Дружков В.Г., Макарова И.В. Критерии выбора рациональной формы и размеров зоны пластичности	11
Дружков В.Г., Ширшов М.Ю. Оценка эффективности применения различных способов подвода горячего дутья в кольцевой воздухопровод доменной печи	14
Тобер С.Г., Потапов М.Г., Потапова М.В. Стабилизация теплового режима доменной плавки в условиях непостоянства влажности кокса	19
Мелеусов А.И., Потапов М.Г., Потапова М.В. Анализ стабильности показателей доменной плавки в условиях АО «Уральская сталь»	22
МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ	26
Андреас Флик Как инновации повышают конкурентоспособность продукции в сталеплавильном производстве	26
Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Шевченко О.И., Корогодский А.Ю. К вопросу удаления водорода из металла в вакууматоре циркуляционного типа	29
ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ	34
Портнова И.В., Ячиков И.М. Моделирование процесса растворения ферромарганца при принудительном перемешивании жидкой ванны ...	34
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	39
Илларионов И.Е. Пути улучшения качества отливок	39
Чернов В.П., Сафонова Е.А., Астапов Е.Н. Исследование влияния влаги на качество оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям	42
Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Дерябин Д.А., Хренов И.Б. Исследование свойств огнеупорного наполнителя холоднотвердеющих смесей	47
Давыдов Н.Г., Лямзин В.А. Сталь 75Г13Л для деталей горного и горно-обогачительного оборудования	51
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	54
Кочкин Ю.П., Солнцев А.Ю. Характер изменений термоЭДС при малой упругой деформации углеродистой стали	54

CONTENTS

RESSING AND PREPARATION OF RAW MATERIALS FOR METALLURGICAL CONVERSION	5
Petukhov V.N., Kubak D.A., Lakhtin S.N. Defining of effective reagents for coal flotation by calculation of main quantum-chemical characteristics of complexes “organic coal mass-water” and “organic coal mass reagent”	5
IRONMAKING	11
Spirin N.A., Pavlov A.V., Druzhkov V.G., Makarova I.V. Selection criterions of rational form and size of plastic belt	11
Drouzhkov V.G., Shirshov M.Y. Results of an estimation of uniformity of distribution on blast to the tuyeres of blast furnace	18
Tober S.G., Potapov M.G., Potapova M.V. Stabilization of the thermal regime of blast furnace melting under conditions of using coke with variable moisture	19
Meleusov A.I., Potapov M.G., Potapova M.V. Analysis of stability indicators of blast furnace melting in JSC “Ural Steel”	25
STEELMAKING	26
Andreas Flick How innovation increses competitivness in steelmaking	29
Metelkin A.A., Sheshukov O.U., Nekrasov I.V., Shevchenko O.I., Korogodsky A.Y. About hydrogen removal from metal in circular type degasser	29
ELECTROMETALLURGY AND FERROALLOYS PRODUCTION	34
Portnova I.V., Yachikov I.M. Simulation of the process of dissolution of ferromanganese under forced stirring liquid bath	38
FOUNDRY	39
Ilarionov I.E. Ways to improve the quality of castings	39
Chernov V.P., Safonova E.A., Astapov E.N. Study of the influence of moisture on quality of shell moulds in lost-wax casting	46
Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Deryabin D.A., Hrenov I.B. The study of the properties of refractory filler cold-mixes	47
Davydov N.G., Lyamzin Vy.A. Steel for details 75G13L mining and ore dressing equipment	51
METAL FORMING	54
Kochkin Yu. P., Solntsev A. Yu. Nature of the change of thermal emf at a small elastic deformation of carbon steel	54

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ	57	METALLOGRAPHY AND HEAT TREATMENT OF METALS.....	57
Чукин М.В., Полецков П.П., Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Ишимов А.С., Гущина М.С., Бережная Г.А.		Chukin M.V., Poletskov P.P., Baryshnikov M.P., Koptseva N.V., Efimova Y.Y., Nikitenko O.A., Ishimov A.S., Gushchina M.S., Berezhnaya G.A.	
Структурно-фазовые превращения при непрерывном охлаждении высокопрочных среднеуглеродистых комплексно-легированных низкоотпущенных сталей ..	57	Structural and phase transformations of medium-carbon complex-alloyed low tempered steel at uninterrupted cooling	57
РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	63	RESOURCES AND ENERGY SAVING TECHNOLOGIES IN FERROUS METALLURGY	63
Избембетов Д.Д., Зупаров Н.С., Исмаилов Н.Е., Амангельдиев Н.М., Байдимиров М.А.		Izbembetov D.D., Zuparov N.S., Ismailov N.E., Amangeldiyev N.M., Baydimirov M.A.	
Утилизация шлаков высокоуглеродистого феррохрома	63	Slag recycling high-carbon ferrochrome	65
Шатохин И.М., Бигеев В.А., Кузьмин В.Л., Черняев А.А., Амангельдиев Н.М., Зупаров Н.С.		Shatohin I.M., Bigeev V.A., Kuzmin A.L., Chernyaev A.A., Amangeldiyev N.M., Zuparov N.S.	
Технология разделения продуктов комплексной переработки металлургических шлаков и шламов с использованием магнитной сепарации	66	Technology division product of complex processing of metallurgical slag and sludge using magnetic separation	69
Ахтамов Ф.Э., Нишоннов Б. У.		Axtemov F.E., Nishonov B.U.	
К вопросу переработки цинковых кеков	69	About processing of zinc cake	69
ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ... 73		ECOLOGY AND ENVIRONMENT PROTECTION	73
Свиридова Т.В., Боброва О.Б.		Sviridova T.V., Bobrova O.B.	
Построение зависимости содержания микроэлементов в растениях от их концентрации в почве	73	According micronutrient content in plants on their concentration in the soil.....	73
ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ	76	COMMON THEORETICAL QUESTIONS	76
Белоусов В.В., Иванова Т.А., Трофимова В.Ш.		Belousov V. V., Ivanova T. A., Trofimova V. Sh.	
Статистический обзор рынка лома черных металлов в РФ	76	The review of the market of scrap metal in Russia	79

ОБОГАЩЕНИЕ И ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

УДК 622.765.063:544.182.37

Петухов В.Н., Кубак Д. А., Лахтин С.Н.

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСОВ «ОМУ – ВОДА» И «ОМУ – РЕАГЕНТЫ»

Аннотация. Установлена высокая флотационная активность комплексного реагента РНХ-3010 при флотации углей. Высокая эффективность и селективность действия РНХ-3010 объясняется групповым химическим составом реагента и структурными особенностями поверхности угля.

Впервые рассчитаны величины энергии водородной связи межмолекулярных комплексов «реагент – органическая масса угля» и «реагент-вода».

Рассчитано распределение электронной плотности в молекулах химических соединений, входящих в реагент РНХ-3010. Установлено, что в межмолекулярных комплексах с модельными соединениями ОМУ энергия водородной связи 2-этилгексанола выше энергии водородной связи бутилового эфира-2-этилгексановой кислоты. Это обеспечивает повышенную адсорбцию 2-этилгексанола на угольной поверхности по сравнению с бутиловым эфиром-2-этилгексановой кислоты, улучшению гидрофобизации угольных зерен и их флотацируемость. Установлено, что при равном расходе реагентов применение 2-этилгексанола позволяет повысить выход концентрата на 2,5% и снизить потери ОМУ с отходами по сравнению с использованием бутилового эфира-2-этилгексановой кислоты.

Экспериментальными данными подтверждается возможность использования в качестве одного из критериев эффективности флотационных реагентов величин энергии водородной связи межмолекулярных комплексов «реагент – органическая масса угля».

Ключевые слова: флотационная активность химических соединений, органическая масса угля (ОМУ), молекулярный электростатический потенциал (МЭСП), межмолекулярные комплексы, длина связи, электронная плотность, энергия водородной связи.

Процесс флотации зависит от свойств флотируемого материала, среды (эффект поля), химического строения и энергетического состояния молекул флотореагентов и образующихся комплексов [1]. Для выявления механизма взаимодействия необходимо знать природу и состояние реакционных центров угля и реагентов, энергию системы и валентные электронные переходы на всем протяжении процесса.

При сближении двух реакционных центров в процессе флотации они воздействуют друг на друга своими молекулярными электростатическими полями – МЭСП [2].

Известно, что в непосредственной близости от угольной поверхности под влиянием некомпенсированных поверхностных сил диполи воды образуют ориентированные гидратные слои, обладающие особыми свойствами, которые отличаются от свойств воды в ее объеме. Взаимодействие флотореагента с угольной поверхностью приводит к внедрению солидофильной группы и особенно углеводородных цепей радикала в гидратную оболочку угля. При этом ориентированность слоев нарушается, связь между диполями воды ослабевает и снижается гидратируемость поверхности угля, что и определяет гидрофобизационный эффект флотореагента. Реагенты, способные

составить конкуренцию молекуле воды и образующие водородную связь, будут гидрофобизировать поверхность угольной частицы, приводя к разрыхлению гидратного слоя.

С целью изучения эффективности действия различных реагентов были проведены исследования по флотации углей различных стадий метаморфизма и различной степени минерализации, обогащаемых на Беловской обогатительной фабрике (табл. 1). В качестве реагентов исследованы: собиратель термогазойль (г. Омск), который в сочетании с пенообразователем КОБС применяется на ряде обогатительных фабрик Кузбасса, а также комплексный реагент РНХ-3010, содержащий в групповом химическом составе смесь ПАВ и до 15% непредельных углеводородов.

При флотации угля марки «Ж» и зольностью 13,8% с использованием базового реагентного режима (Термогазойль + КОБС) был получен концентрат зольностью 9,0%, зольность отходов при этом составила 48,5%, выход концентрата 87,8%, извлечение горючей массы в концентрат 92,7%. Расход реагентов составляет 1 кг/т угля (см. табл. 1). При использовании комплексного реагента РНХ-3010 при равной зольности концентрата его выход и извлечение горючей массы в концентрат относительно базового технологического режима увеличилось до 91,0 и 95,9% соответственно. Зольность хвостов флотации составила 62,2%.

© Петухов В.Н., Кубак Д. А., Лахтин С.Н., 2016

Таким образом, использование комплексного реагента РНХ-3010 при флотации угля марки «Ж» позволяет повысить выход концентрата без потери его качества, а также снизить потери горючей массы с отходами при снижении его расхода в 2,5 раза. Высокая эффективность и селективность действия РНХ-3010 объясняется групповым химическим составом и структурными особенностями поверхности угля. Угли марки «Ж», относящиеся к углям низкой степени метаморфизма, имеют большое количество гетерополярных функциональных и углеводородных групп, находящихся на поверхности угля. Поэтому и гетерополярные органические соединения, входящие в состав реагента РНХ-3010, имеют повышенную адсорбцию на поверхности углей, обеспечивая большую эффективность при флотации. При флотации угольного шлама марки «КС», отличающейся повышенной зольностью – 21,5%, для получения концентратов с зольностью, удовлетворяющей требованиям потребителей, расход реагентов повысился. Суммарный расход термогазойля и КОБС составил 1,4 кг/т. Зольность полученного концентрата составила 8,8 %, при его

выходе 74,8% и извлечении горючей массы в концентрат 86,9%. Зольность отходов флотации – 59,2%. Применение реагента РНХ-3010 при флотации угольного шлама марки «КС» также приводит к повышению выхода концентрата на 1,5%, а извлечение горючей массы в концентрат на 1,8% при снижении расхода реагента примерно на 80%(см. табл. 1).

В групповой химический состав РНХ-3010 входят в основном алифатические спирты, сложные эфиры, 1,3-диоксацикланы. Нами были рассчитаны величины энергии водородной связи модельных соединений органической массы углей с водой и реагентами с целью оценки адсорбционной активности реагентов и, соответственно их эффективности действия при флотации углей.

В качестве молекул, моделирующих структуру ОМУ, рассмотрены молекулы фенола, бензотиола, безальдегида, бензойной кислоты (рис. 1). В качестве реагентов выбраны 2-этилгексанол и бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты как основные компоненты технического продукта нефтехимии РНХ-3010 [3].

Таблица 1

Результаты флотации угольных шламах марок «Ж», «КС» с использованием различных реагентов

.Реагент		Расход реагента, кг/т			Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Исходное питание, зольность
Собиратель	Пенообразователь	собирателя	пенообразователя	общий					
Термогазойль (г. Омск)	КОБС	0,9	0,1	1,0	87,8	9,0	48,5	92,7	Марка Ж, 13,8%
	РНХ-3010	0,4	--	0,4	91,0	9,0	62,2		
Термогазойль (г. Омск)	КОБС	1,3	0,1	1,4	74,8	8,8	59,2	86,9	Марка КС, 21,5%
	РНХ-3010	0,8	--	0,8	76,3	8,7	62,7		

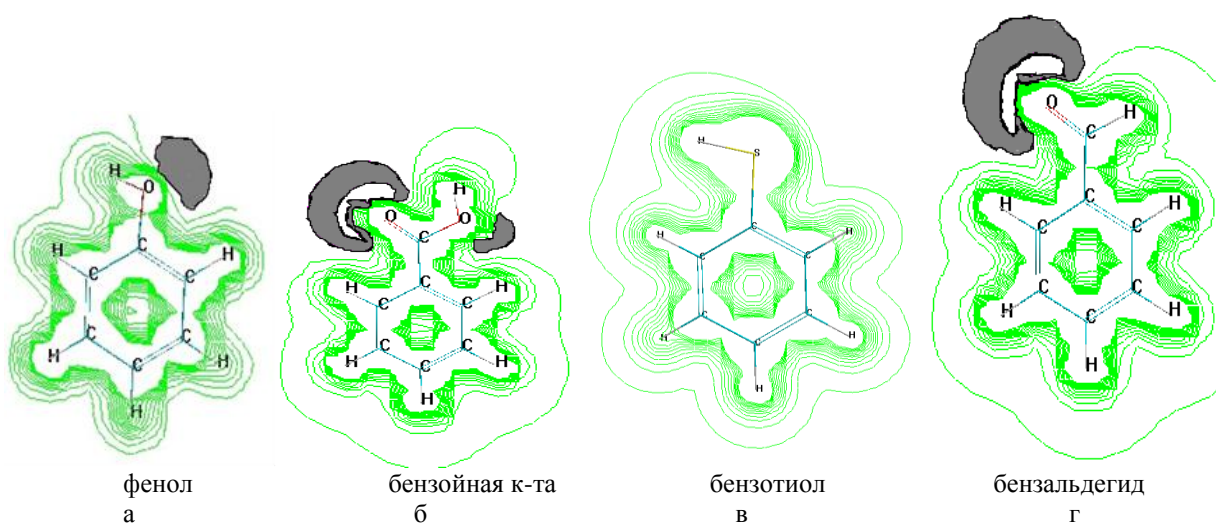


Рис. 1. Карты молекулярного электростатического потенциала соединений, моделирующие ОМУ

Расчет суммарных энергий связей в молекулах и комплексах выполнялся с помощью программы HyperChem 8.0.8 методом PM3.

Реагенты, способные составить конкуренцию молекуле воды и образующие водородную связь с повышенной энергией межмолекулярных комплексов «реагент—ОМУ», будут гидрофобизировать поверхность угольной частицы, приводя к разрыхлению гидратного слоя [4].

В табл. 2 представлены результаты расчета энергии водородных связей в межмолекулярных комплексах модельных соединений ОМУ с 2-этилгексанолом и бутиловым эфиром-2-этилгексановой кислоты, имеющих наиболее высокие значения энергии (для удобства все значения взяты по модулю).

В молекуле фенола кислород имеет заряд -0,228, водород гидроксильной группы +0,196. В молекуле фенола имеется один ярко выраженный активный центр на атоме кислорода фенольной группы, представлен на рис. 1, а.

2-этилгексанол – алифатический спирт с разветвленным углеводородным радикалом, содержащий 8 атомов углерода, представлен на рис. 2. Максимальный отрицательный заряд сконцентрирован на атоме кислорода гидроксильной группы (-0,320), максимальный положительный на водороде – гидроксильной группы (0,19). Дипольный момент молекулы со-

ставляет 1,738 D. Из карты МЭСП видно, что молекула 2-этилгексанола имеет один ярко выраженный реакционный центр.

Молекула 2-этилгексанола может образовывать с модельным соединением ОМУ – фенолом два комплекса с различной энергией водородной связи.

В комплексе «фенол-2-этилгексанол 2», водородная связь образуется между водородом фенольной группы и кислородом спирта. Реагент выступает в качестве донора электронов. Энергия водородной связи составляет 28,58 кДж/моль, что в 1,8 раз больше значения энергии комплекса «фенол-вода». Молекула 2-этилгексанола может составить конкуренцию молекулам воды при адсорбции его на угольной поверхности, обеспечивая высокую гидрофобизацию и флотирuemость угольных частиц.

Бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты – сложный эфир, производный 2-этилгексановой кислоты и бутилового спирта (рис. 3). Молекула имеет разветвленное строение. Максимальные отрицательные заряды (-0,406 и -0,240) сконцентрированы на атомах кислорода сложноэфирной группы. Максимальный положительный заряд – на карбонильном углероде +0,370. Из карты МЭСП видно, что в молекуле есть два активных центра, расположенных на атомах кислорода сложноэфирной группы.

Таблица 2

Основные характеристики комплексов «ОМУ – вода» и «ОМУ – реагенты»

Соединение	E _{обр} , кДж/моль	μ, D	E водородной связи, кДж/моль
Фенол – вода	-6873,61	2,72	16,34
Фенол - этилгексанол 2	-16251,25	2,86	28,58
Фенол–бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты 1	-20887,32	3,22	19,57
Бензотиол-вода	-6687,83	2,37	8,72
Бензотиол - этилгексанол 2	-16068,31	2,59	23,79
Бензотиол- бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты	-20703,46	3,62	13,87
Бензальдегид–вода	-7539,91	3,69	12,74
Бензальдегид -2-этилгексанол	-16918,34	3,29	25,77
Бензойная кислота - вода 1	-8025,78	3,14	16,38
Бензойная кислота – этилгексанол 3	-17402,03	1,21	27,24
Бензойная кислота – бутиловый эфир 2-этилгексановой кислоты	-22038,86	1,67	18,98

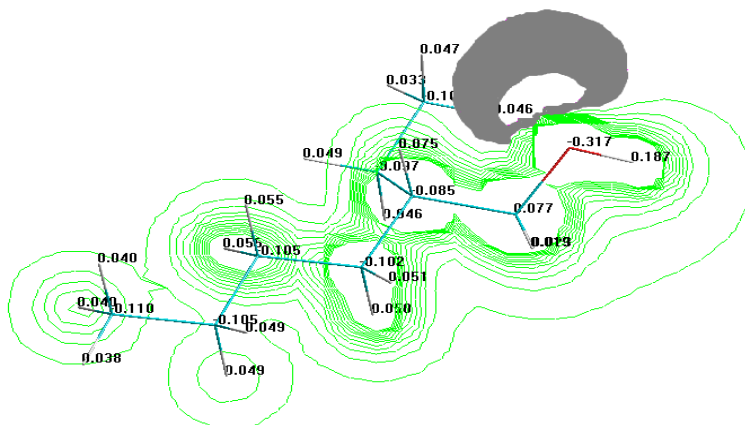


Рис. 2. Карта МЭСП и распределение электронной плотности в молекуле 2-этилгексанола

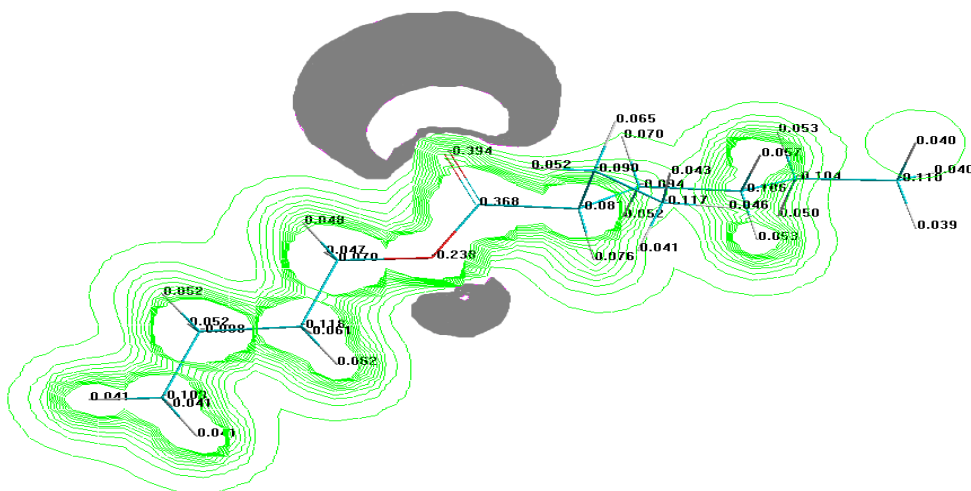


Рис. 3. Карта МЭСП и распределение электронной плотности в молекуле бутилового эфира-2-этилгексановой кислоты

При взаимодействии участков поверхности ОМУ, содержащих фенольные фрагменты, с бутиловым эфиром-2-этилгексановой кислоты возможно образование нескольких комплексов. В данной работе рассмотрено образование двух комплексов: «комплекс 1», в котором водородная связь образована водородом фенольной группы и карбонильным кислородом сложного эфира; «комплекс 2», в котором водородная связь образуется между водородом фенола и кислородом алкоксигруппы. Энергии водородной связи для этих комплексов составляют 19,57 и 15,25 кДж/моль соответственно. Так как энергия водородной связи во втором комплексе на 4,32 кДж ниже, чем в комплексе с водой, то образование данного комплекса возможно, но менее предпочтительно.

Бензотиол – соединение, не имеющее ярко выраженных нуклеофильных центров на карте МЭСП. Это связано со сравнительно невысокой электроотрицательностью серы. Однако сера тиогруппы, также как и кислород фенольной группы, имеет две неподеленные пары электронов, проявляет положительный мезомерный эффект, может выступать в качестве активного центра (рис. 1, в). Дипольный момент молекулы 1,579 D, что превышает значение дипольного момента молекулы фенола (1,14 D).

Энергия водородной связи в комплексе «бензотиол – вода» составляет 8,72 кДж/моль. При образовании комплекса бензотиол – 2-этилгексанол энергия водородной связи выше на 15,07 кДж/моль, что свидетельствует о высокой конкурентоспособности спирта при адсорбции его на угольной поверхности по сравнению с молекулами воды.

В комплексе «бензотиол-бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты» водородная связь образуется между атомом водорода тиольной группы и кислородом карбонильной группы сложного эфира. Энергия связи больше, чем в комплексе «бензотиол – вода», и составляет 13,87 кДж/моль, следовательно, об-

разование комплекса «бензотиол-бутиловый эфир 2-этилгексановой кислоты» энергетически выгодно.

Бензальдегид является простейшим ароматическим соединением, содержащим карбонильную группу (рис. 1, г). Имеет один ярко выраженный реакционный центр, находящийся на атоме кислорода карбонильной группы, на котором сконцентрирован максимальный отрицательный заряд (-0,317).

Карбонильная группа проявляет отрицательный мезомерный эффект, атом кислорода имеет заряд -0,317, карбонильный углерод 0,328, карбонильный водород 0,045. Дипольный момент молекулы 2,69 D.

При образовании межмолекулярной связи «кислород карбонильной группы - водород воды» энергия водородной связи составляет 12,74 кДж/моль.

В комплексе с 2-этилгексанолом образуется связь между кислородом альдегидной группы и водородом спирта. Энергия водородной связи 25,77 кДж/моль, что выше энергии в комплексе с водой на 13,03 кДж/моль. Это свидетельствует о высокой конкурентоспособности спирта при адсорбции его на угольной поверхности по сравнению с молекулами воды. Комплекс стабилен и вероятность его образования велика. Карбоксильная группа бензойной кислоты сочетает в себе две функциональные группы — карбонильную C=O и гидроксильную -OH, взаимно влияющие друг на друга.

Максимальный отрицательный заряд, расположенный на атоме кислорода карбонильной группы (-0,404), свидетельствует о смещении электронной плотности на него, по индуктивному и мезомерному эффектам, что приводит к дополнительной поляризации связи в гидроксильной группе. Из карты МЭСП видно, что в молекуле имеется два ярко выраженных активных центра, расположенных на атомах кислорода карбоксильной группы. Наибольшим положительным зарядом обладает атом водорода гидроксила карбоксильной группы (0,229) (рис. 1, б).

Энергия водородной связи в комплексе «бензойная кислота-вода» составляет 16,38 кДж/моль.

В работе рассмотрены три вида комплексов 2-этилгексанола с карбоксильными функциональными группами ОМУ и один комплекс при взаимодействии карбоксильной группы ОМУ с бутиловым эфиром 2-этилгексановой кислоты.

В комплексе «бензойная кислота - 2-этилгексанол 1» при образовании водородной связи между карбонильным кислородом и водородом гидроксильной группы 2-этилгексанола энергия водородной связи ниже, чем в комплексе «бензойная кислота - вода», и составляет 15,17 кДж/моль, что меньше, чем энергия образования комплекса с водой, следовательно, такой комплекс энергетически не выгоден.

При образовании комплексов «бензойная кислота – 2-этилгексанол 2 и 3» энергия водородной связи составляет 20,24 и 27,20 кДж/моль соответственно. Образование таких комплексов в процессе флотации наиболее вероятно, так как 2-этилгексанол конкурентоспособнее молекул воды.

Бутиловый эфир - 2-этилгексановой кислоты также образует только один комплекс с образованием водородной связи, которая возникает между атомом водорода гидроксильной группы и атомом кислорода карбонильной группы сложного эфира. Энергия связи в комплексе «бензойная кислота - бутиловый эфир

2-этилгексановой кислоты» составляет 18,98 кДж/моль. Молекула сложного эфира способна составить конкуренцию молекулам воды в борьбе за активные центры ОМУ, содержащие карбоксильные группы.

С другими функциональными группами модельных соединений бутиловый эфир- 2-этилгексановой кислоты не образует межмолекулярные комплексы, в то время как 2-этил гексанол может образовывать межмолекулярные комплексы также с хиноном и пиридином. Результаты расчетов энергии водородной связи межмолекулярных комплексов по данным квантово-химических характеристик химических соединений и модельных соединений ОМУ показывает, что 2-этилгексанол образует комплексы с более высоким значением величин энергии водородной связи по сравнению с бутиловым эфиром- 2-этилгексановой кислоты (табл. 3).

Таким образом, основные компоненты, входящие в состав реагента РНХ-3010 – 2-этилгексанол и бутиловый эфир 2-этилгексановой кислоты, образуют устойчивые межмолекулярные комплексы с соединениями, моделирующими ОМУ. Причем энергия водородной связи в комплексах с участием 2-этилгексанола выше, что и подтверждается полученными экспериментальными данными по определению теплоты смачивания и флотационными опытами (табл. 4).

Таблица 3

Энергия водородной связи при взаимодействии химических соединений, с модельными соединениями ОМУ

Химическое соединение	Энергия водородной связи (кДж/моль) межмолекулярных комплексов, образованных химическими соединениями при взаимодействии с модельными соединениями ОМУ					
	Фенол	Бензотиол	Бензальдегид	Бензойная кислота	Хинон	Пиридин
2-этилгексанол	28,58	21,66	25,77	27,2	11,4	9,5
Бутиловый эфир-2-этилгексановой кислоты	19,57	13,87	-----	18,98	-----	-----

Примечание. Светлым цветом выделены межмолекулярные комплексы, образование которых энергетически выгодно, темным – не выгодно, прочерк – комплекс не образуется вообще.

Таблица 4

Результаты флотации и теплота смачивания угля технологической марки «Ж» ш. Костромовской чистыми химическими соединениями (зольность угля 13,8%)

Соединение	Расход реагента, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Теплота смачивания, Дж/г
Бутиловый эфир 2-этилгексановой кислоты	1,0	86,5	7,6	93,5	9,5
2-этилгексанол	1,0	90,0	8,6	96,4	12,7

Оба соединения обладают высокой флотационной активностью и значительной теплотой смачивания. Однако при флотации 2-этилгексанолом извлечение горючей массы в концентрат составляет 96,4%, что на 2,9% выше, чем при использовании бутилового эфира 2-этилгексановой кислоты (см. табл. 4).

Таким образом, исследованием установлено, что энергия водородной связи межмолекулярных комплексов «реагент - ОМУ» может служить критерием для выбора высокоэффективных реагентов для флотации углей.

Сведения об авторах

Петухов Василий Николаевич – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru

Кубак Денис Анатольевич – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: deniskubak@yandex.ru

Лактин Сергей Николаевич – начальник КХП ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия. E-mail: lakhtin@mmk.ru

Список литературы

1. Лавриненко А.А., Свечникова Н.Ю. Исследование квантово-химических параметров углеводородов при выборе реагентов для флотации углей // Вестник Магнитогорского государственного университета им. Г.И. Носова. 2008. №1(21). С. 83-85.
2. Гиревая Х.Я. Повышение эффективности флотации газовых углей на основе квантово-химического обоснования выбора реагентов: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006. 167 с.
3. Использование квантово-химических характеристик для обоснования флотационной активности реагента РНХ-3010 / Петухов В.Н., Кубак Д.А., Медяник Н.Л., Гиревая Х.Я. // Кокс и химия. 2013. №6. С.29-35.
4. Квантово-химические исследования взаимодействия угольной поверхности с водой / Петухов В.Н., Гиревая Х.Я., Кубак Д.А., Гиревой Т.А // Кокс и химия. 2013. №8. С. 26-33.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEFINING OF EFFECTIVE REAGENTS FOR COAL FLOTATION BY CALCULATION OF MAIN QUANTUM-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COMPLEXES "ORGANIC COAL MASS-WATER" AND "ORGANIC COAL MASS REAGENT"

Petukhov Vasily Nikolaevitch – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Kubak Denis Anatolievitch – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Lakhtin Sergey Nikolaevitch – Head of coke production Magnitogorsk Iron & Steel Works, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. Installed a high flotation activity of the complex reagent RNH-3010 in coal flotation. High efficiency and selectivity of the action reagent RNH-3010 due to the group chemical composition and structural features of the surface of the coal.

For the first time calculated the amount of energy of hydrogen bond in intermolecular complexes "reagent – organic mass of coal" and "reagent - water".

The calculated distribution of electronic density in molecules chemical compounds incoming in the reagent RNH-3010. It is established that in intermolecular complexes with model compounds of OMC (organic mass of coal) the hydrogen bond energy of 2-ethylhexanol is higher than the energy of the hydrogen bond butyl ether 2-ethylhexanoic acid. This provides greater adsorption of 2-ethylhexanol on the coal surface compared to the butyl ether 2-ethylhexanoic acid, the improvement hydrophobization of the coal grains and their floatability. It is established, that at equal consumption of reagents, the use of 2-ethylhexanol allows to increase the output of concentrate at 2.5% and to reduce losses of OMC waste compared to the use of butyl ether 2-ethylhexanoic acid.

Experimental data confirmed the possibility of use as one of criteria of efficiency of flotation values of the energy of hydrogen bond in intermolecular complexes "reagent – organic mass of coal."

Keywords: flotation activity of chemical compounds, organic mass of coal, molecular electrostatic potential, intermolecular complexes, the bond length, electron density, the hydrogen bond energy.



МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

УДК 669

Спирин Н.А., Павлов А.В., Дружков В.Г., Макарова И.В.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ПЛАСТИЧНОСТИ

Аннотация. Рассмотрены критерии выбора рациональной формы и размеров зоны пластичности. Показаны условия, при которых зона размягчения и плавления материалов будет меньше сопротивляться прохождению газового потока. Проведен расчет формирования зоны плавления доменной печи №1 ОАО «ММК» для шихты разного состава.

Ключевые слова: печь доменная, зона размягчения и плавления материалов, шихта.

Современная технология доменной плавки свидетельствует о том, что определяющей зоной в газодинамическом отношении является нижняя часть доменной печи – зона шлакообразования. Именно эта зона, характерная наличием в ней размягченных и жидких шлаковых расплавов, оказывает высокое газодинамическое сопротивление газовому потоку, ограничивает расход дутья и производительность доменной печи.

Для снижения сопротивления зоны шлакообразования потоку газов необходимо выполнение ряда условий:

1. При возможности выбора железорудного сырья необходимо применять материалы, имеющие повышенное значение температуры начала размягчения и узкий температурный интервал плавления. Толщина зоны пластичности в этом случае будет иметь минимальное значение, что снизит газодинамическое сопротивление зоны шлакообразования и будет способствовать получению высокой производительности доменной печи.

2. При наличии в шихте двух и более железорудных компонентов, отличающихся по основности, необходимо производить смешивание компонентов рудной части шихты. В этом случае при развитии процессов твердофазного минералообразования по мере движения шихты вниз к зоне шлакообразования возможно образование минералов с более благоприятными вязкопластичными характеристиками. Лучшим с точки зрения шлакообразования вариантом плавки агломерата с низкоосновными окатышами является смешивание низкоосновных окатышей с флюсами, понижение основности агломерата и последующая раздельная загрузка печи агломератом и смесью низкоосновных окатышей с флюсами.

3. Лучшим вариантом использования агломерата и окатышей является работа печи на агломерате и окатышах одинаковой основности.

4. Способ загрузки в печь – формирование отдельных слоёв железорудного сырья по видам по радиусу или загрузка смешанной шихты не влияет на

форму зоны размягчения и плавления материалов (зоны когезии). Установлено влияние такой загрузки на протяжённость зоны плавления. Загрузка в доменную печь непропорционально смешанной шихты приведёт к опусканию ветви зоны вниз и уменьшению её протяжённости при большей доле агломерата и соответственно перемещению её вверх с увеличением протяжённости – при большей доле окатышей.

5. Для поддержания чистоты коксовой насадки и сохранения хорошей её газопроницаемости необходимо формирование шлаков оптимальной вязкости и основности, минимизация разрушения кокса и выноса из печи твердых частиц пиролизного углерода природного газа, исключение длительного контакта фильтрующегося шлакового расплава с коксом для предотвращения образования карбида кремния и исключения явления «прилипания» шлака к поверхности кусков кокса.

Расчеты формирования зоны плавления для базового (август 2013 г.) и прогнозного периода работы доменной печи № 1 ОАО «ММК» выполняются с помощью прогнозной модели зоны плавления УРФУ. В прогнозируемом периоде относительно базового изменяется распределение рудной нагрузки по радиусу и моделируется загрузка смешанной железорудной части шихты.

Химический состав компонентов шихты и расходы компонентов в сравниваемых периодах приводятся в табл. 1.

При переходе работы печи с использованием шихты прогнозного периода ожидаемые вязкопластичные характеристики будут такими: температура начала размягчения $t_{н.пл} = 1197^{\circ}\text{C}$, температура расплавления $t_p = 1402^{\circ}\text{C}$

В прогнозируемом периоде предлагается изменить распределение рудной нагрузки по сечению колошника с целью ликвидации излишне развитого периферийного газового потока с большим раскрытием центра печи в сравнении с базовым периодом.

Распределение рудной нагрузки по радиусу колошника печи № 1 ММК в базовом и предлагаемом прогнозируемом периодах показано в табл. 2.

© Спирин Н.А., Павлов А.В., Дружков В.Г., Макарова И.В., 2016

Таблица 1

Расходы компонентов шихты и их состав в рассматриваемых периодах

Компонент шихты	Расход, кг/т	Содержание оксида или элемента, %								
		Fe	FeO	Mn	S	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
Базовый период										
Агломерат ММК	1097,2	55,27	11,04	0,276	0,047	10,70	6,63	1,64	2,19	0,27
Соколовские окат.	470,2	63,20	3,73	0,016	0,043	1,57	4,73	1,73	0,25	0,30
Прогнозный период										
Агломерат ММК	1132,1	56,43	11,04	0,280	0,048	8,80	6,77	1,68	2,23	0,38
Соколовские окат.	485,2	63,20	3,73	0,016	0,043	1,57	4,73	1,73	0,25	0,30

Таблица 2

Распределение рудной нагрузки по сечению колошника доменной печи № 1 ОАО «ММК» в базовом и прогнозном периодах

Расстояние от стенки колошника, м	0,00	0,41	0,93	1,48	2,28	3,30
Рудная нагрузка, т/т (базовый период)	3,94	4,36	4,95	5,15	3,60	2,91
Рудная нагрузка, т/т (прогнозный период)	4,7	5,0	5,3	5,4	3,4	1,3

Графическое отображение распределения рудной нагрузки по сечению колошника печи № 1 ММК для рассматриваемых периодов представлено на рис. 1.

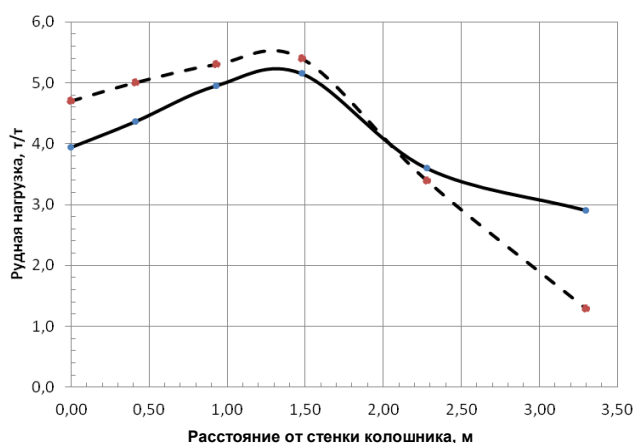


Рис. 1. Изменение рудных нагрузок в базовом и прогнозном периодах для доменной печи № 1 ММК

Расчеты показывают, что из-за повышения температур начала размягчения с 1088⁰С (базовый период) до 1197⁰С в прогнозном периоде и снижения температурного интервала плавления с 400⁰С в базовом варианте до 205⁰С (прогнозный период) толщина зоны когезии уменьшится с 2,99 до 1,54 м в прогнозном периоде.

При принятой в прогнозном периоде плавки распределении рудной нагрузки по сечению колошника, предполагаемых вязкопластичных характеристиках шихты зона когезии примет вид, изображенный на рис. 2 (правая сторона рисунка).

При построении зоны когезии в прогнозном периоде учтена неравномерность скорости движения шихты по радиусу за счет плавления железорудного материала и смешивание железорудной шихты.

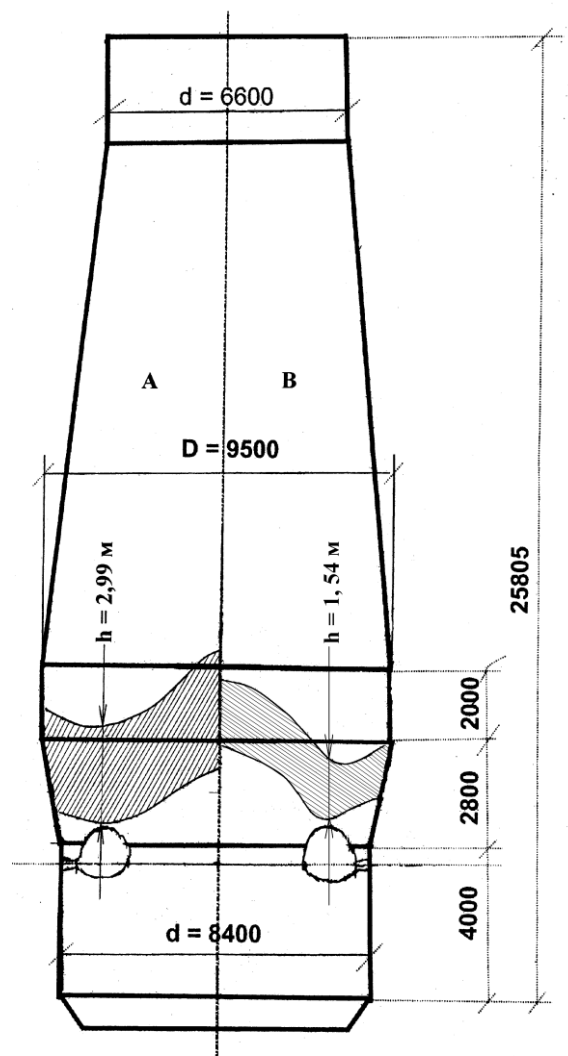


Рис. 2. Размеры и форма зоны когезии в базовом и прогнозном вариантах для печи № 1 ММК: А – базовый период; В – прогнозный период

Несмотря на прогнозирование «раскрытия центра» и подгрузку периферии, осевая часть зоны когезии не поднялась, образовав А-образное её очертание. Сравнение форм зоны когезии на рис. 2 в базовом и прогнозном периоде указывает на большую значимость неравномерности скорости опускания материалов по радиусу, характерную для печей объёмом 1370 м³.

Сведения об авторах

Спирин Николай Александрович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплофизики и информатики в металлургии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия. E-mail: n.a.spirin@urfu.ru

Павлов Александр Владимирович – зам. гл. металлурга по аглококсодоменному производству ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия. E-mail: alexandr.pavlov.v@yandex.ru

Дружков Виталий Гаврилович – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (3519) 29-84-30.

Макарова Ирина Владимировна – канд. техн. наук, доц. кафедры МЧМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.irina1976@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SELECTION CRITERIONS OF RATIONAL FORM AND SIZE OF PLASTIC BELT

Spirin Nikolai Aleksandrovich – D. Sc. (Eng.), Professor, Ural Federal Universiti named after. the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg, Russia.

Pavlov Aleksander Vladimirovich – assistant of the main metalworker for coke, sinter and blast furnace productions for Magnitogorsk Iron & Steel Works OJSC, Magnitogorsk, Russia.

Druzhkov Vitaly Gavrilovich – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the department of Metallurgy of ferrous metals. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Makarova Irina Vladimirovna – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor of the ferrous metallurgy department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. Selection criterions of rational form and size of plastic belt are seen. Criterions of less resistance for gas passage are shown. Calculation of plastic belt formation for the first blast furnace of Magnitogorsk Iron & Steel Works OJSC for the different charge are made.

Keywords: blast furnace, plastic belt, charge.



УДК 669.162.22-52

Дружков В.Г., Ширшов М.Ю.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОДВОДА ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ В КОЛЬЦЕВОЙ ВОЗДУХОПРОВОД ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Аннотация. Рассмотрены варианты подвода горячего дутья к кольцевому воздухопроводу как одна из причин неравномерного распределения дутья по фурмам доменных печей. Проведены исследования с различными способами подвода дутья в лабораторных условиях. Предложено оснащать доменные печи кольцевым воздухопроводом с тангенциальным подводом горячего дутья, при реализации которого неравномерность распределения дутья будет минимальна.

Ключевые слова: печь доменная, подача горячего дутья, кольцевой воздухопровод, односторонний прямой и тангенциальный подводы, двусторонний тангенциальный подвод.

Как правило, при работе доменной печи распределение горячего дутья по фурмам весьма неравномерно [1-3]. Отклонения в расходе дутья по фурмам колеблются в пределах $\pm 30-60\%$ от среднего [3,4]. Причинами образования такой неравномерности могут быть конструкции трактов подвода горячего дутья, в частности узла подвода его в кольцевой воздухопровод, число и диаметр фурм, параметры дутьевого режима, сопротивление столба шихты над фурмами и др. [1-6].

Воздухопровод горячего дутья, представленный на рис. 1, в котором прямой воздухопровод врезается перпендикулярно к кольцевому воздухопроводу горячего дутья, не претерпел каких-либо существенных изменений и применяется на большинстве доменных печей России и мира (согласно результатам анализа литературных данных с 1930-х годов по настоящее время) [8-10]. Недостатком такого устройства является односторонний подвод горячего дутья, в результате чего расход его на фурмах в секторах места ввода и диаметрально противоположного ему, обычно, выше [1, 3, 5-7]. Об этом свидетельствуют данные исследований предыдущих лет [1-5, 11, 12], а также современные наблюдения, сделанные на доменных печах ОАО «ММК» в 2013 и 2014 годах [7, 13].

Среди работ, рассматривающих вопросы, аналогичные подводу дутья к кольцевому воздухопроводу, наибольший интерес представляют исследования [4, 5, 11] на доменных печах №5 Северстали ($V_{II}=5580 \text{ м}^3$) и №9 Криворожстали ($V_{II}=5037 \text{ м}^3$), в которых односторонний подвод дутья в кольцевой воздухопровод, изображенный на рис. 2, осуществляется сверху двумя патрубками с углом между их осями соответственно 72° и 59° .

Распределение горячего дутья по фурмам, представленное на рис. 3, изучали в незагруженных печах во время их сушки после капитального ремонта 1-го разряда.

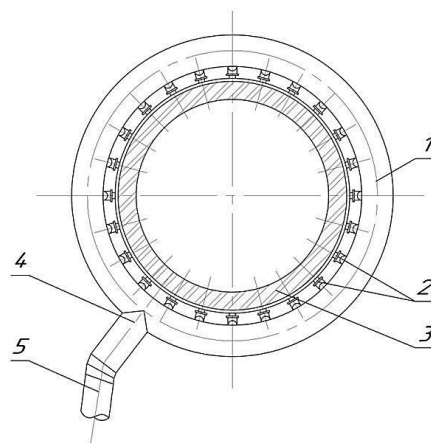


Рис. 1. Общий вид кольцевого воздухопровода доменной печи [10]:

- 1 – кольцевой воздухопровод; 2 – фурменные приборы;
3 – доменная печь; 4 – место врезки прямого воздухопровода горячего дутья;
5 – воздухопровод горячего дутья

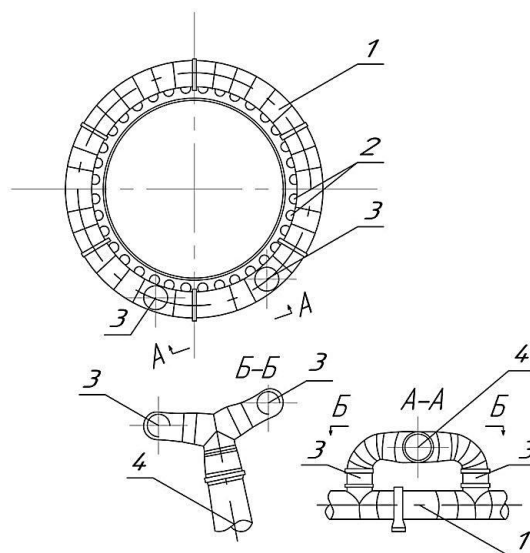


Рис. 2. Кольцевой воздухопровод горячего дутья [5]:

- 1 – кольцевой воздухопровод; 2 – фурменные приборы;
3 – узлы ввода горячего дутья в кольцевой воздухопровод;
4 – прямой воздухопровод горячего дутья

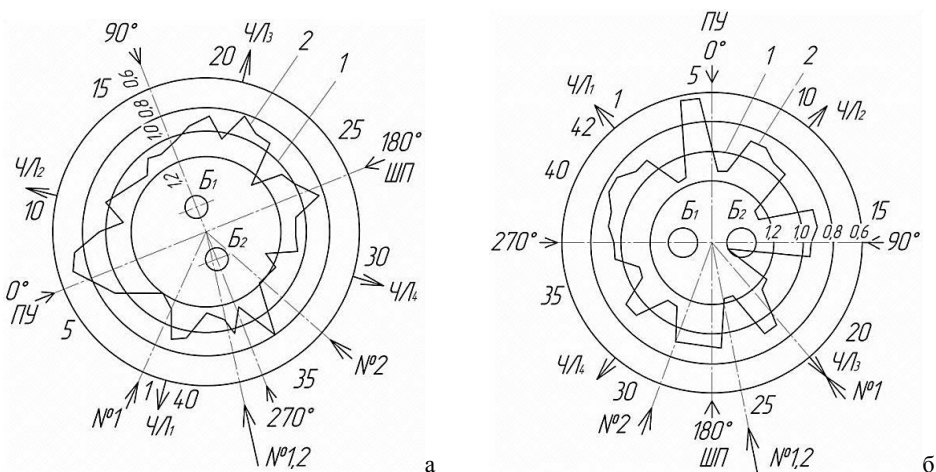


Рис. 3. Распределение дутья по воздушным фурмам:

а – ДП-5 Северстали; б – ДП-9 Криворожстали:

1 – средний расход дутья на фурму, принятый за единицу; 2 – расход дутья, доли ед.; ПУ, ШП, Б₁, Б₂ – пылеуловители, шихтоподача, бункера БЗУ; ЧЛ₁, ..., ЧЛ₄ – летки для выпуска продуктов плавки; 1, ..., 42 – номера воздушных фурм; 0°, ..., 270° – станции лотка БЗУ; № 1, № 2 – подводы горячего дутья в кольцевой воздухопровод и их средняя ось – № 1, 2 [5]

Видно, что для обеих печей секторы с увеличенным на 10-20 % расходом дутья на фурмы располагались вблизи подводов (№1 и №2) в кольцевой воздухопровод и на диаметрально противоположной стороне [4,5,11].

На кафедре «Металлургия черных металлов» (МЧМ) МГТУ им. Г.И. Носова была поставлена задача изучить влияние подвода горячего дутья к кольцевому воздухопроводу доменной печи по одному из трех вариантов в зависимости от конкретных условий:

– первый вариант (рис. 4, а), односторонний подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу доменной печи, выполненный перпендикулярно, при этом диаметр кольцевого и прямого воздухопроводов

одинаковы;

– второй вариант (рис. 4, б), односторонний подвод дутья к кольцевому воздухопроводу доменной печи, выполненный не перпендикулярно, а тангенциально (по касательной), при этом диаметр кольцевого и прямого воздухопроводов одинаковы;

– третий вариант (рис. 4, в), двусторонний подвод дутья (с двумя местами врезки в диаметрально противоположных направлениях) к кольцевому воздухопроводу доменной печи, выполненный не перпендикулярно, а тангенциально (по касательной), при этом диаметр кольцевого и прямого воздухопроводов одинаковы.

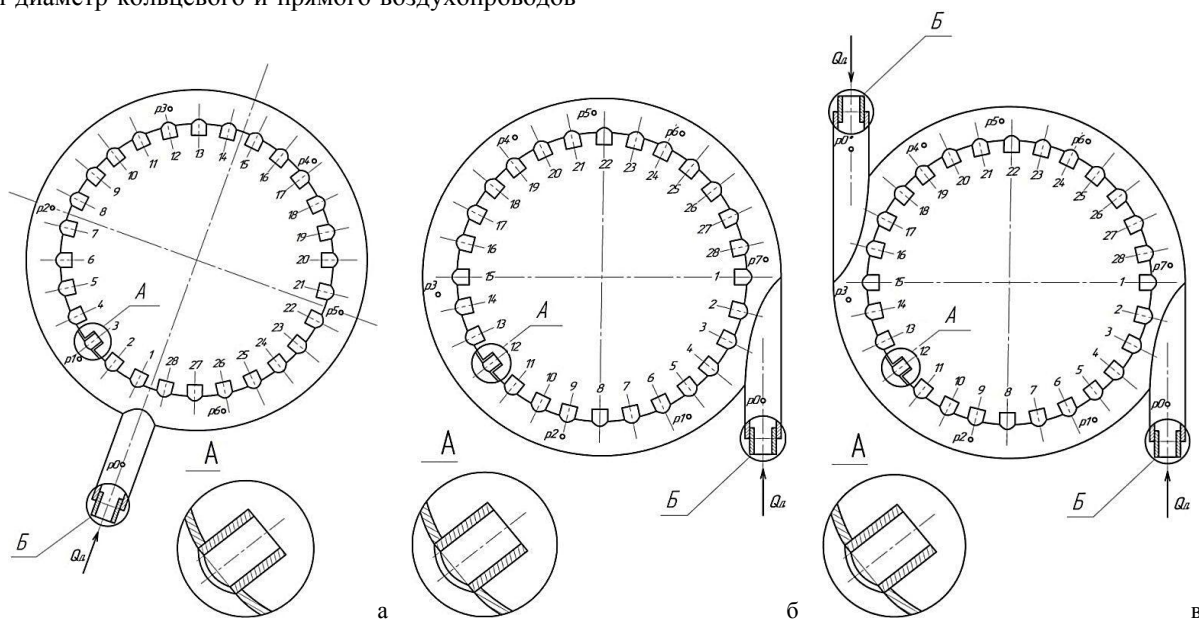


Рис. 4. Общий вид кольцевого воздухопровода на модели доменной печи $V_{\text{п}}=3200 \text{ м}^3$ (М 1:50): 1-28 – фурменные приборы; $p_0 p_0 - p_7$ – отверстия для отбора статического давления

Работы проводились в лаборатории физического моделирования доменного процесса на круглой, разъемной модели доменной печи, с полезным объемом (V_{II}) 3200 м³, выполненной из оргстекла в масштабе 1:50 (с загрузкой шихтовых материалов), с перпендикулярным и тангенциальным подводом прямого воздухопровода горячего дутья к кольцевому, при этом диаметр кольцевого и прямого воздухопроводов одинаковы. Сыпучей средой служила смесь шамотной (фракции 0,8–1,8 мм) и агломерационной крошки (фракции 0,85–1,6 мм), с насыпной плотностью 1,325 г/см³.

Количество фурм 28. Место врезки перпендикулярного подвода дутья находилось между 1 и 28 фурмами, одностороннего тангенциального подвода – между 1 и 28 фурмами, двустороннего тангенциального подвода – между 1 и 28, 15 и 16. Чтобы получить представление о распределении потоков дутья по кольцевому воздухопроводу, на модели было исследовано распределение полного давления. По окруж-

ности кольцевого воздухопровода и в месте врезки подвода дутья расположены отверстия p_0, p_0-p_7 (см. рис. 4) для отбора полного давления, в которые устанавливался специальный зонд диаметром 2 мм. Измерение полного давления в кольцевом воздухопроводе осуществляли с помощью U-образного манометра h_U (мм) ($P > 2000$ Па; $h_U = 1100$ мм). На модели в кольцевой воздухопровод подавался холодный воздух ($t \approx 22^\circ\text{C}$) с помощью лабораторных воздуходувок. Расход (Q) дутья из патрубка воздуходувки при односторонних перпендикулярном и тангенциальном подводах составил $1,73 \cdot 10^{-3}$ м³/с. При двустороннем тангенциальном подводе дутья в кольцевой воздухопровод $Q = 1,4 \cdot 10^{-3}$ м³/с.

В табл. 1–3 представлены результаты измерений полного давления в кольцевом воздухопроводе с разными способами подвода дутья.

На рис. 5 представлено распределение полного давления в кольцевых воздухопроводах (см. рис. 4).

Таблица 1

Результаты измерений в кольцевом воздухопроводе с перпендикулярным подводом

p_i	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
p , Па	5223,4	5203,8	5135,2	5115,6	5047	5027,4	5135,2
p , мм вод. ст.	532,6	530,6	523,6	521,6	514,6	512,6	523,6

Таблица 2

Результаты измерений в кольцевом воздухопроводе с односторонним тангенциальным подводом

p_i	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
p , Па	5243	5341	5409,6	5243	5262,6	5262,6	5184,2	5184,2
p , мм вод. ст.	534,6	544,6	551,6	534,6	536,6	536,6	528,6	528,6

Таблица 3

Результаты измерений в кольцевом воздухопроводе с двусторонним тангенциальным подводом

p_i	p_0	p_7	p_6	p_5	p_4	p_0	p_3	p_2	p_1
p , Па	4478,6	4606	4537,4	4596,2	4655	4576,6	4370,8	4429,6	4478,6
p , мм вод. ст.	456,7	469,6	462,6	468,6	474,6	466,6	445,7	451,7	456,7

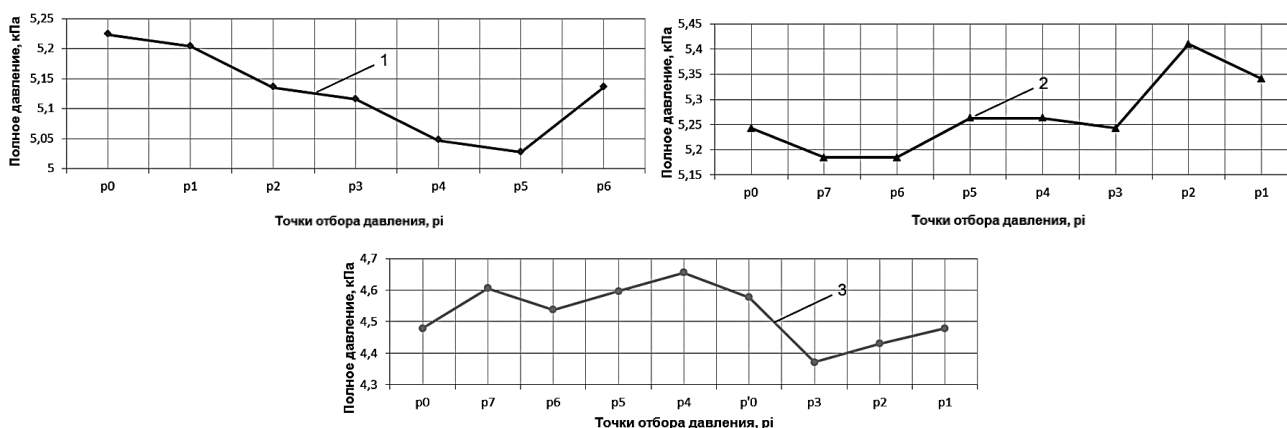


Рис. 5. Распределение полного давления в кольцевом с разными способами подвода: 1 – перпендикулярный; 2 – тангенциальный; 3 – двусторонний тангенциальный

При одностороннем тангенциальном подводе дутья полное давление выше. Объясняется это тем, что при таком способе ввода дутья поток, попадая в кольцевой воздухопровод, не встречая на своем пути препятствий, скользит по нему, увеличивая скорость движения и динамический напор. В результате снижается статическое давление и расход дутья по фурменным приборам на участке ввода и диаметрально противоположного ему. Происходит закручивание потока, что позволяет поддерживать стабильность динамического напора и скорости движения потока дутья.

Таким образом, тангенциальный подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу позволит обеспечить более равномерное распределение горячего дутья по фурмам доменной печи. Это способствует улучшению технологических показателей работы доменной печи и позволяет увеличить производительность печи и уменьшить удельный расход топлива. Кроме того, при таком способе подвода горячего дутья удастся снизить вероятность разрушения футеровки в местах ввода.

В реальных условиях прямой воздухопровод соединяет между собой блок воздухонагревателей (3-4 шт.) и доменную печь. Блок воздухонагревателей обычно располагается с одной стороны, поэтому двусторонний тангенциальный подвод горячего дутья, как на модели доменной печи (см. рис. 4, б) реализовать невозможно. Поэтому предложена конструкция (рис. 6), в которой прямой воздухопровод снабжен V-образной вставкой, одна ветвь которой напрямую соединена с входным отверстием одного патрубка кольцевого воздухопровода, а вторая ветвь указанной вставки выполнена удлиненной в виде изогнутой по форме кольцевого воздухопровода наружной трубы, соединенной с входным отверстием другого патрубка.

Горячее дутье от воздухонагревателей поступает в прямой воздухопровод 6, пройдя по которому в V-образной вставке 7 делится на два потока.

Первый поток, по ветви 8 вставки 7, напрямую соединенной с патрубком 4, попадает в полость кольцевого воздухопровода 1. Указанный поток, не встречая на своем пути никаких препятствий, продолжает свое движение по кольцевому воздухопроводу 1, сохраняя скорость.

В то же время горячее дутье под давлением из прямого воздухопровода 6 по изогнутой наружной трубе 9 через патрубок 5 поступает в кольцевой воздухопровод 1. Он, так же как и первый, не встречает на своем пути никаких препятствий, поэтому продолжает движение по кольцевому воздухопроводу 1, сохраняя свою скорость.

Создание в кольцевом воздухопроводе 1 двух последовательно направленных друг за другом потоков горячего дутья, обеспечивающих взаимное их ускорение, позволяет поддерживать стабильность скорости движения и динамического напора потоков горячего дутья.

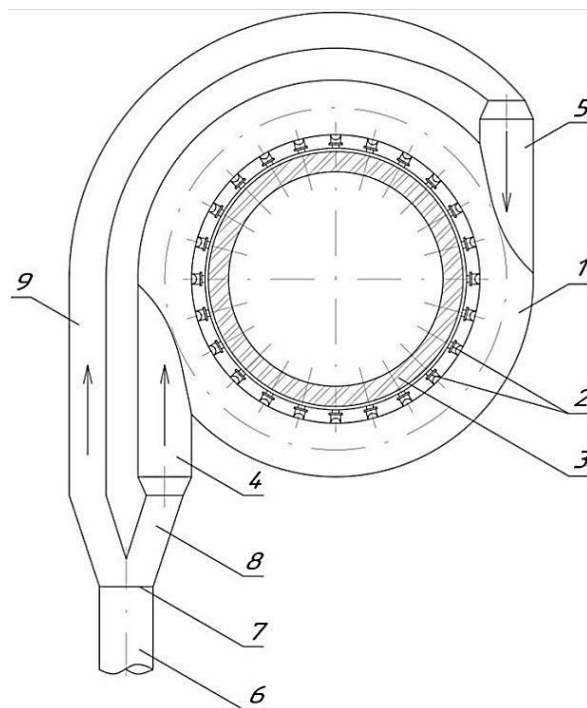


Рис. 6. Устройство для ввода горячего дутья в доменную печь [14]:

1 – кольцевой воздухопровод горячего дутья; 2 – фурменные приборы; 3 – доменная печь; 4, 5 – патрубки; 6 – прямой воздухопровод; 7 – V-образная вставка; 8, 9 – ветви

На данное устройство для ввода горячего дутья получен патент № 158168 [14].

Повысить равномерность распределения горячего дутья по фурмам доменной печи представляется возможным благодаря оснащению доменных печей кольцевым воздухопроводом с тангенциальным подводом горячего дутья в него.

Тангенциальный односторонний подвод к кольцевому воздухопроводу способствует более равномерному распределению горячего дутья по фурмам на доменных печах с числом воздушных фурм до 20 шт.

На доменных печах с большим числом воздушных фурм (с полезным объемом печи $V_{\text{п}} \geq 3200 \text{ м}^3$) целесообразно осуществлять двусторонний тангенциальный подвод дутья к кольцевому воздухопроводу.

Список литературы

1. Влияние распределения дутья по фурмам на газовый поток в доменной печи / К.М. Бугаев, В.М. Антонов, Г.В. Варшавский и др. // Сталь. 1987. №2. С.17–22.
2. Бугаев К.М. Распределение газов в доменных печах. М.: Metallurgy, 1974. 176 с.
3. Тарасов В.П., Тарасов П.В. Теория и технология доменной плавки. М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 384 с.
4. Распределение дутья по окружности в доменной печи объемом 5000 м³ / В.И. Большаков, С.Г. Шулико, В.В. Лебедь, Ю.С. Семенов и др. // Metallurgical and Ironmaking Industry. 2005. №2. С. 10-16.
5. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. К.: Наук. думка. 2007. 412 с.

6. Дружков В.Г., Ширшов М.Ю. Причины неравномерного распределения дутья по фурмам доменных печей и необходимость оснащения их САРД нового поколения // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1. С. 27-31.
7. Результаты оценки равномерности распределения дутья по фурмам доменных печей / Ширшов М.Ю., Дружков В.Г., Павлов А.В., Прохоров И.Е. // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2. С. 27-31.
8. Новоспаский А.Ф. Конструкции доменных печей и устройство цехов. Ч. 2: Подача сырых материалов к печам и нагрев воздуха. М.: ГОНТИ, 1938. 230 с.
9. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3 т. Т.1: Машины и агрегаты доменных цехов: учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. М.: Металлургия, 1987. 440 с.
10. Любин А.Е. Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния. Киев: Сталь, 2010. 471 с.
11. Пути улучшения распределения дутья в доменной печи / Большаков В.И., Логинов В.И., Шутылев Ф.М. и др. // Сталь. 2006. №5. С. 11-14.
12. Экспериментальное исследование распределения дутья по фурменным приборам доменной печи перед задувкой / Ф.Р. Шкляр, Н.М. Бабушкин, В.Н. Тимофеев и др. // Теплотехника доменного и агломерационного производства: тр. ВНИИМТ. М.: Металлургия, 1966. №4. С. 313-325.
13. Дружков В.Г., Ширшов М.Ю., Прохоров И.Е. Методы определения расхода горячего дутья на отдельно взятую фурму в горне доменной печи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2. С. 21-27.
14. Пат. на полезную модель №158168 РФ. Устройство для ввода горячего дутья в доменную печь / Дружков В.Г., Ширшов М.Ю.; патентообладатель МГТУ им. Г.И. Носова. Опубликовано 20.12.2015 в БИ и ПМ № 35.

Сведения об авторах

Дружков Виталий Гаврилович – канд. техн. наук, доц. института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (3519) 29-84-30.

Ширшов Михаил Юрьевич – аспирант института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: shirshov1989@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESULTS OF AN ESTIMATION OF UNIFORMITY OF DISTRIBUTION ON BLAST TO THE TUYERES OF BLAST FURNACE

Drouzhkov Vitaly Gavrilovich – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Shirshov Mikhail Yuryevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: shirshov1989@mail.ru .

Abstract. *The options considered for supplying hot blast circulating duct as one of the reasons for non-uniform hot blast distribution of the hot blast on tuyeres of blast furnaces. Conducted research with variety ways of supplying blast in the laboratory conditions. It is proposed to equip the blast furnaces hot blast circulating duct with a tangential supply of hot blast, the implementation, which non-uniform hot blast distribution will be minimal.*

Keywords: *blast furnace, delivery of hot blast, hot blast circulating duct, open side direct and tangential supply, dual sided tangential supply.*



Тобер С.Г., Потапов М.Г., Потапова М.В.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ НЕПОСТОЯНСТВА ВЛАЖНОСТИ КОКСА

Аннотация. В работе выполнен анализ качества кокса и его влияние на стабильность теплового режима плавки. Показано, что кокс, производимый в условиях АО «Уральская сталь», отличается достаточно низкими прочностными показателями и нестабильной влажностью. Последнее связано как с использованием разных способов тушения, так и с технологическими особенностями производства.

Установлено, что основной причиной нестабильного теплового состояния доменных печей АО «Уральская Сталь» являются высокие колебания влажности кокса при его дозировке без учета текущей влажности. Поскольку данные о качестве кокса поступают на печи с опозданием, а доставка кокса в бункера доменного цеха осуществляется неупорядочно, у технологического персонала доменного цеха возникают серьезные проблемы с поддержанием стабильного теплового состояния и ровного хода доменной печи.

Для стабилизации теплового состояния в работе предлагается установить нейтронные влагомеры в весовые воронки кокса. В этом случае корректировка поступающего кокса в подачу будет происходить по данным влажности кокса предыдущей подачи. Внедрение нейтронных влагомеров позволит стабилизировать процесс доменной плавки, увеличить производительность доменных печей на 0,5-1,0 % при сокращении расхода кокса на 0,6-1,2 %.

Ключевые слова: доменная плавка, тепловое состояние, влажность кокса, расход кокса, нейтронный влагомер.

Одним из основных факторов, влияющих на тепловое состояние доменной печи и показатели ее работы, является качество кокса [1-3]. Кокс, производимый в условиях АО «Уральская Сталь», отличается достаточно низкими прочностными показателями и нестабильной влажностью [4, 5]. Последнее связано как с использованием разных способов тушения [6], так и с технологическими проблемами. Качественные показатели кокса, производимого в АО «Уральская Сталь», приведенные в таблице.

Качественные характеристики доменного кокса по среднемесячным и сменным отчетным данным

Показатели	Значения показателей, %	
	По среднемесячным данным	По сменным данным
Технический анализ		
Влажность	<u>4,8-6</u> 5,4	<u>3,1-6</u> 4,9
Зола	<u>11,4-12,1</u> 11,7	<u>11,2-12,7</u> 11,7
Сера	<u>0,4-0,6</u> 0,5	<u>0,35-0,42</u> 0,38
Барабанная прочность		
M25	<u>81,8-85,2</u> 83,5	<u>81,6-83,4</u> 82,4
M10	<u>8,5-10,9</u> 9,7	<u>9,5-11,3</u> 10,4
Ситовый состав по классам		
> 80	<u>27,1-32,1</u> 29,6	<u>10-37,7</u> 20
80 - 60	<u>34,4-39,8</u> 37,1	<u>40-52,6</u> 46,5
60 - 40	<u>24-27,6</u> 25,8	<u>17,3-36,4</u> 26,3
40 - 25	<u>3,8-5,6</u> 4,7	<u>2-6,2</u> 4,9
< 25	<u>2,1-3,5</u> 2,8	<u>1-4,8</u> 2,3
Примечание. В числителе интервал изменения; в знаменателе – среднее значение.		

Как следует из представленных данных, даже среднемесячные колебания параметров качества кокса достаточно высоки. При этом колебания разовых показателей качества кокса существенно выше, что значительно осложняет ведение доменной плавки [6, 7] и негативно сказывается на ее результатах. На рис. 1 и 2 приведена динамика влажности кокса и прочности на удар по ежемесячным данным.

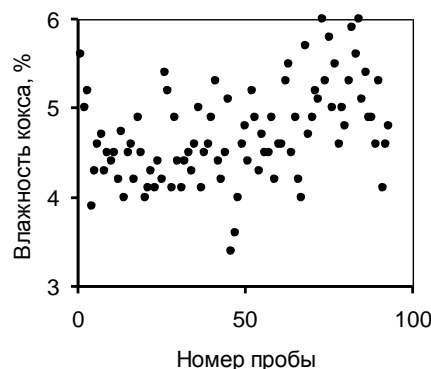


Рис. 1. Динамика влажности кокса (по пробам) за исследуемый период

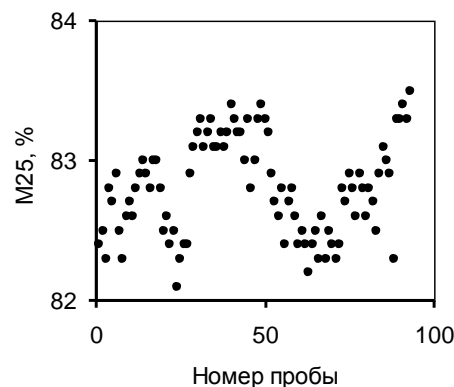


Рис. 2. Динамика прочности кокса по M25 (по пробам) за исследуемый период

Как видно из представленных данных, в течение анализируемого периода наблюдается значительная нестабильность параметров качества кокса, особенно влажности и прочности. Поскольку данные о качестве кокса поступают на печи с опозданием, а доставка кокса в бункера доменного цеха осуществляется неупорядоченно, у технологического персонала доменного цеха возникают серьезные проблемы с поддержанием стабильного теплового состояния и ровного хода доменной печи [7, 8].

Основным показателем теплового состояния доменной печи служит содержание кремния в чугуна [1-3, 9-11]. За исследуемый период содержание кремния в чугуна (по данным о работе доменной печи №3) изменялось от 0,4 до 0,8 %. Причем между влажностью кокса и содержанием кремния в чугуна наблюдается достаточно тесная взаимосвязь: с повышением влажности кокса повышается содержание кремния в чугуна (рис. 3). Это происходит из-за увеличения расхода кокса для создания запаса тепла печи.

Поддержание повышенного теплового уровня горна ведет к уменьшению производительности и увеличению удельного расхода кокса: при увеличении содержания кремния на 0,1% производительность

доменной печи №3 снижается на 28 т/сут. (1,0%), расход кокса увеличивается на 6,0 кг/т (1,2 %).

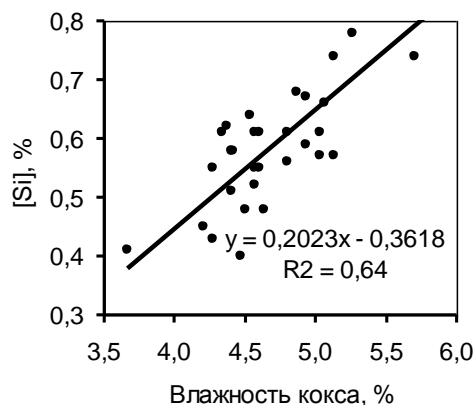


Рис. 3. Взаимосвязь влажности кокса и содержания кремния в чугуна

Для иллюстрации влияния колебания влажности кокса на показатели доменной плавки выполнен анализ работы ДП№3 за 1,5 сут, в течение которых влажность кокса изменялась от 3 до 5% (рис. 4).

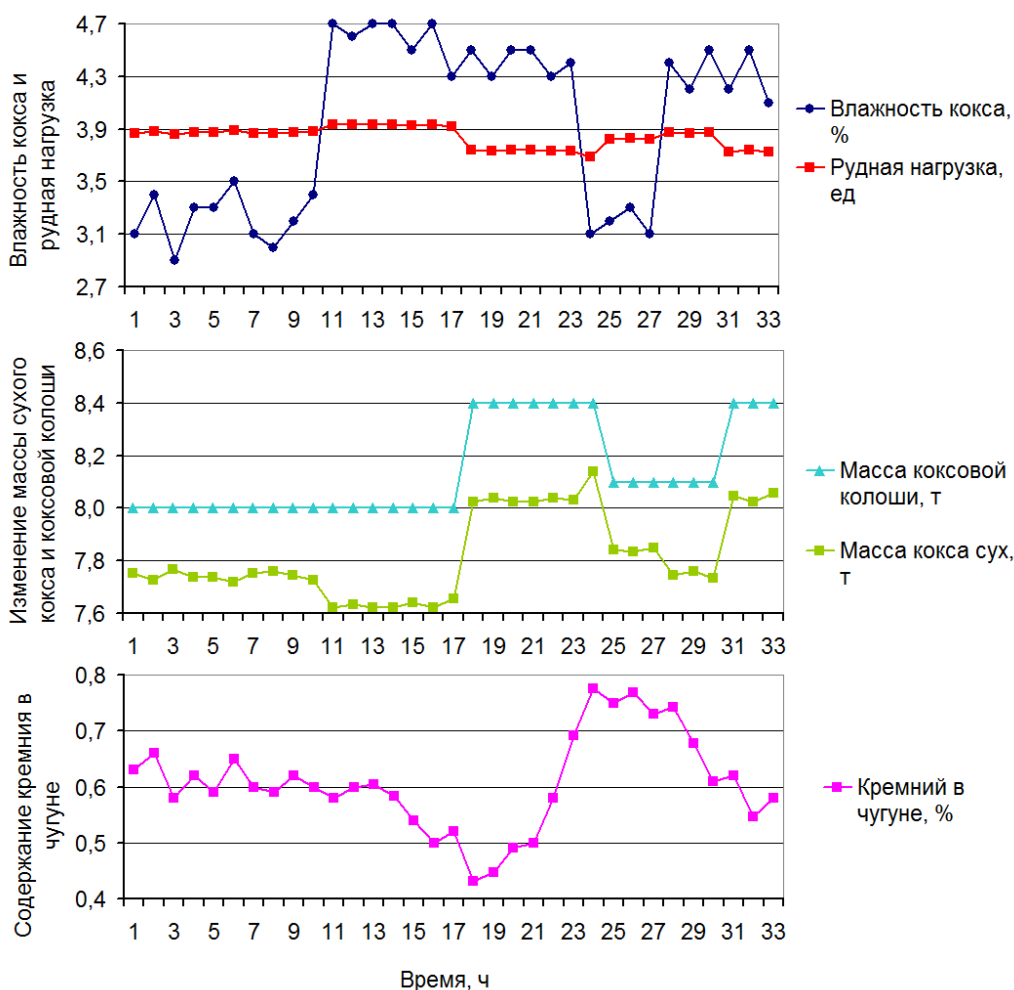


Рис. 4. Динамика параметров доменной плавки

Так, резкое увеличение влажности кокса с 11 ч анализируемого периода привело к уменьшению массы сухого кокса в подаче и повысило рудную нагрузку в пересчете на сухую массу кокса. Результатом увеличения рудной нагрузки стало снижение кремния в чугуне, которое произошло приблизительно через 5 ч. Для стабилизации теплового состояния печи технологический персонал увеличил массу коксовой колоши в 17 ч анализируемого периода, что привело к росту теплового состояния горна и повышению содержания кремния в чугуне с 22 ч, т.е. через 5 ч. Из проведенного анализа следует, что колебания влажности кокса влияют на тепловое состояние доменной печи и показатели ее работы. Корректирующие действия технологический персонал производит, ориентируясь на содержание кремния в чугуне с опозданием на 5-6 ч, что приводит к колебаниям теплового состояния печи.

Для стабилизации теплового состояния в работе предлагается установить нейтронные влагомеры в весовые воронки кокса. В этом случае корректировка поступающего кокса в подачу будет происходить по данным влажности кокса предыдущей подачи.

Внедрение нейтронных влагомеров позволит стабилизировать процесс доменной плавки, увеличить производительность доменных печей на 0,5-1,0 % при сокращении расхода кокса на 0,6-1,2 %.

Список литературы

1. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 257 с.
2. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.
3. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. М.: Металлургия, 1989. 512 с.
4. Мулько О.А., Шаповалов А.Н. Качество кокса и его влияние на показатели доменной плавки на примере работы доменной печи №4 ОАО «Урал Сталь» (ОХМК) // Наука и производство Урала. 2006. № 2. С. 49-54.
5. Сафарова А.Б., Шаповалов А.Н. Повышение качества кокса в условиях ОАО «Уральская сталь» // Наука и производство Урала. 2011. № 7. С. 25-32.
6. Пожидаев Ю.А., Столярова М.С., Бабинцев Я.В. Эффективные способы тушения кокса // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 3 (51). С. 34-38.
7. Овчинникова Е.В., Шаповалов А.Н. Влияние параметров дутьевого режима на эффективность доменной плавки в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2013. Т. 13. № 1. С. 61-67.
8. Овчинникова Е.В., Шаповалов А.Н. Влияние параметров загрузки на показатели работы доменной печи № 3 ОАО «Уральская Сталь» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й международной науч.-техн. конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.1. С. 125-129.
9. Майорова Т.В., Андреев С.М. Проблемы автоматической стабилизации теплового состояния доменной печи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. № 4 (12). С. 42-43.
10. Сближение технологий выплавки стали в кислородном конвертере и дуговой сталеплавильной печи / Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Федянин А.Н., Потапова М.В., Писчаскина А.В. // Теория и технология металлургического производства. 2015. №2 (17). С. 35-39.
11. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Сомнат Басу, Потапова М.В., Дидович С.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 24-27.

Сведения об авторах

Тобер Сергей Геннадьевич – АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия.

Потапов Михаил Геннадьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (раб) 8(3519)29-85-30. E-mail: potapovmg@mail.ru

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (раб) 8(3519)29-85-73. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STABILIZATION OF THE THERMAL REGIME OF BLAST FURNACE MELTING UNDER CONDITIONS OF USING COKE WITH VARIABLE MOISTURE

Tober Sergey Gennadyevich – JSC “Ural Steel”, Novotroitsk, Russia.

Potapov Mikhail Gennadyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Ferrous Metallurgy Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: potapovmg@mail.ru

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Foundry and Material Science Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-30. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

Abstracts. Analysis of coke quality and its influence on stability melting thermal regime are performed in the paper. It is shown that coke produced at JSC “Ural Steel” has quite low strength characteristic and unstable moisture. It is connected with both using different technologies of coke quenching and technical peculiarities of production.

It is established that the main reason of unstable thermal state of blast furnaces at JSC “Ural Steel” is wide fluctuations coke moisture. As data about coke quality

Keywords: доменная плавка, тепловое состояние, влажность кокса, расход кокса, нейтронный влагомер.



УДК 669.162

Мелеусов А.И., Потапов М.Г., Потапова М.В.

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Аннотация. Выполнен анализ среднемесячных и среднесуточных данных о работе доменной печи №2 за период с 2011 по 2013 годы. Анализ производственных данных за исследуемый период свидетельствует о значительных колебаниях показателей работы доменной печи №2, особенно в зимние месяцы работы. Худшие показатели работы печи в зимние месяцы объясняются нестабильностью химического состава агломерата из-за нарушений дозирования компонентов агломерационной шихты, повышением колебаний влажности кокса, а также проблемами с шихтоподачей и стабильностью загрузки материалов в печь.

Колебания качества сырья и стабильности его загрузки ведет к дестабилизации хода печи, что отражается как на качестве чугуна, так и на производительности печи и расходе кокса. В результате в летний период (с мая по октябрь) наблюдается более высокая производительность печи при меньшем расходе кокса и меньших колебаниях показателей этих параметров по сравнению с зимним периодом. Для устранения указанных колебаний необходимо в зимние месяцы работать с более высоким тепловым запасом горна, строго контролировать работу по дозировке шихтовых материалов, а также корректировать основность шлака.

Ключевые слова: доменная плавка, стабильность показателей, производительность, расход кокса, качество чугуна.

Эффективность доменной плавки как непрерывного процесса зависит от ровности хода печи, критериями которого являются стабильные технологические параметры работы, обеспечивающие высокую производительность при минимальном расходе кокса [1-3].

Для оценки эффективности и стабильности доменной плавки в условиях АО «Уральская Сталь» был выполнен анализ производственных данных о работе доменной печи №2 за 2011–2013 гг. (табл. 1).

Анализ производственных данных за исследуемый период свидетельствует о значительной колеблемости показателей работы доменной печи №2. Кроме того, наблюдается сезонность изменения основных параметров доменной плавки: в летний период (с мая по октябрь) наблюдается более высокая производительность печи при меньшем расходе кокса и меньших колебаниях показателей этих параметров по сравнению с зимним периодом. Основные результаты работы доменной печи №2, усредненные за зимние и летние месяцы (за период с 05.2010 по 08.2013), приведены в табл. 2.

Худшие показатели работы печи в зимние месяцы можно объяснить, главным образом, сезонными особенностями работы аглококсодоменного передела:

- снижение стабильности химического состава агломерата [4] из-за нарушений дозирования компонентов агломерационной шихты вследствие смерзания материалов или плохой работы питателей и др.;

- более высокие колебания влажности кокса и окатышей, что ведет к нарушению стабильности теплового уровня доменной печи (грузят по весу);

- смерзание материалов в бункерах эстакады и возможные проблемы с шихтоподачей.

Таблица 1
Показатели работы ДП № 2 АО «Уральская Сталь»
по среднемесячным отчетным данным за 2010-2013 гг.

Показатели	Значение показателя за период
Производство чугуна, т/сут	<u>1401-2092</u> 1635,24
Простои, %	<u>0-4,78</u> 1,15
Расход кокса (сухого), кг/т чугуна	<u>460-512</u> 482,1
Содержание железа в металлошихте с известью, %	<u>53,58-59,67</u> 55,49
Механическая прочность кокса M ₂₅ , %	<u>81,3-84,3</u> 82,1
Истираемость кокса M ₁₀ , %	<u>9,7-11,4</u> 10,41
Влажность кокса, %	<u>2,1-6,4</u> 4,8
Содержание фракции 5-0 мм в агломерате, %	<u>13,7-17,2</u> 16,4
Доля агломерата в рудной части шихты, %	<u>41,2-77,9</u> 64,2
Расход дутья, м³/т	<u>1518-2279</u> 1713,85
Температура дутья, °С	<u>987-1066</u> 1024,1
Расход, м³/т чугуна:	<u>70-113</u>
природного газа	91,44
кислорода	<u>11,74-179,4</u> 95,81
Давление колошникового газа, атм	<u>0,75-1,15</u> 1,0
Содержание в чугуне, %:	<u>0,54-0,87</u>
Si	0,57
Mn	<u>0,1-0,46</u> 0,18
P	<u>0,043-0,063</u> 0,052
S	<u>0,012-0,020</u> 0,014
Примечание. В числителе интервал изменения; в знаменателе – среднее значение.	

Таблица 2

Усредненные по сезонам результаты работы доменной печи № 2 АО «Уральская Сталь с 2010 по 2013 гг.

Показатели	Значение за период		Среднеквадратическое отклонение показателя за период	
	зимний	летний	зимний	летний
Производительность, т/сут	$\frac{1447,68-1926,07}{1616,16}$	$\frac{1635,00-2092,44}{1734,36}$	125,25	111,94
Расход кокса, кг/т	$\frac{478,52-512,00}{489,57}$	$\frac{460,39-496,00}{480,39}$	10,41	8,66
Содержание кремния в чугуне, %	$\frac{0,57-0,87}{0,70}$	$\frac{0,54-0,76}{0,66}$	0,10	0,06
Содержание серы в чугуне, %	$\frac{0,012-0,020}{0,014}$	$\frac{0,012-0,018}{0,014}$	0,0022	0,0018

Примечание. В числителе интервал изменения; в знаменателе – среднее значение.

Взаимосвязь показателей работы доменной печи представлена на рис. 1 и 2. Менее стабильные условия работы печи в зимние месяцы ведут к необходимости работать с большим тепловым уровнем горна [5, 6] за счет перерасхода кокса, что, в свою очередь, ведет к потере производительности.

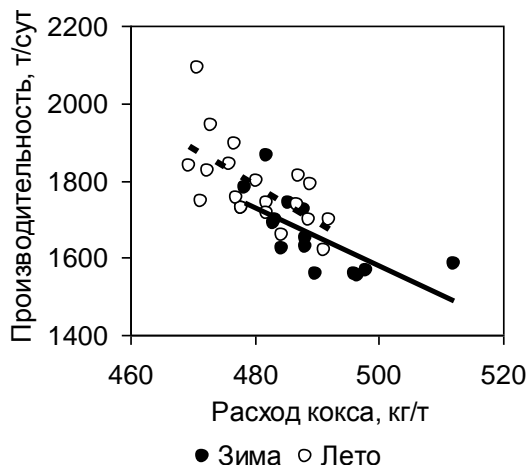


Рис. 1. Взаимосвязь производительности и удельного расхода кокса

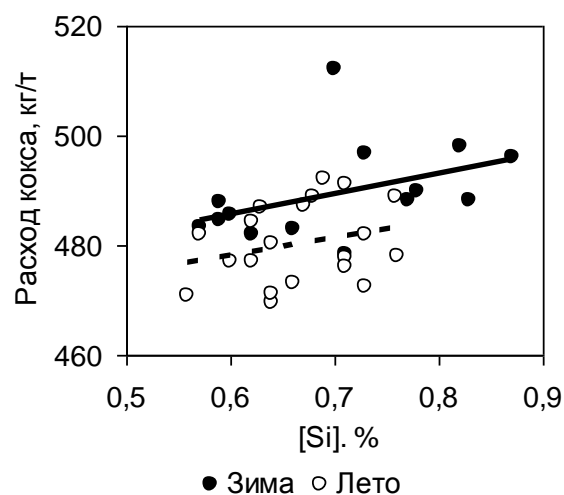


Рис. 2. Взаимосвязь дельного расхода кокса с содержанием кремния в чугуне

Для оценки влияния колебания технологических факторов на производительность и расход кокса был выполнен анализ суточных данных о работе ДП №2 за 2014 год, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Усредненные среднесуточные показатели работы доменной печи №2 за 2014 г.

Параметр	Среднее значение за период		Среднеквадратическое отклонение за период	
	Зима	Лето	Зима	Лето
Fe в агломерате, %	52,98	52,8	0,84	0,57
Fe в шихте, %	54,8	54,7	0,79	0,64
Выход шлака, кг/т	395,8	413,6	33,82	28,18
Основность шлака, ед.	1,06	1,08	0,039	0,023
(FeO), %	0,31	0,29	0,075	0,058
[Si], %	0,61	0,59	0,083	0,053
[S], %	0,0160	0,0153	0,0029	0,0023
Производительность, т/сут	1755,3	1804,6	123,70	97,44
Расход кокса, кг/т	483,6	480,7	30,29	24,50

При анализе среднесуточных показателей работы доменной печи №2 были рассмотрены различные факторы, влияющие на показатели доменной плавки, такие как содержание железа в металлошихте, содержание кремния, серы и сезонные факторы, влияющие на них. Из представленных в табл. 3 данных видно, что в летние месяцы работы колебания параметров доменной плавки существенно ниже, чем в зимние. Колебания качества сырья и стабильности его загрузки ведет к дестабилизации хода печи, что отражается как на качестве чугуна, так и на производительности печи и расходе кокса.

Для иллюстрации влияния стабильности параметров плавки на результаты работы печи на рис. 3–5 показано влияние среднеквадратического отклонения содержания железа в доменной шихте на показатели работы доменной печи.

Из приведенных на рис. 3–5 данных следует, что повышение колебаний содержания железа в шихте доменной печи ведет к снижению суточной производительности и повышению расхода кокса. Это объясняется нарушением теплового состояния печи, что вызывает необходимость корректировки рудной нагрузки, параметров дутья и др. Дестабилизация теплового состояния подтверждается повышением колебаний содержания кремния в чугуне (см. рис. 5). Результатом нестабильного теплового состояния горна является работа с большим тепловым запасом, что ведет к перерасходу кокса (см. рис. 4).

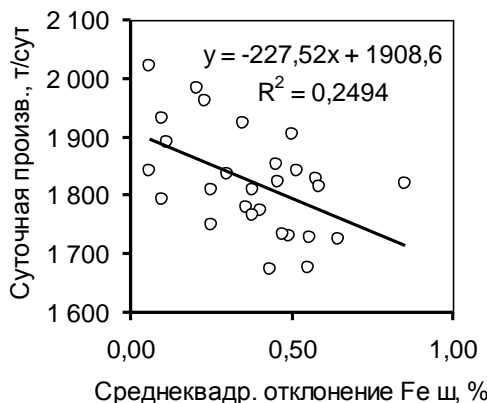


Рис. 3. Влияние колебаний содержания Fe в шихте на производительность печи

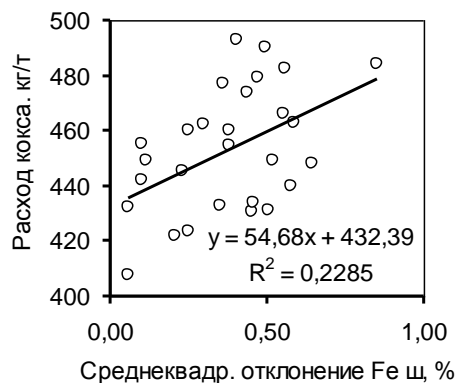


Рис. 4. Влияние колебаний содержания Fe в шихте на расход кокса

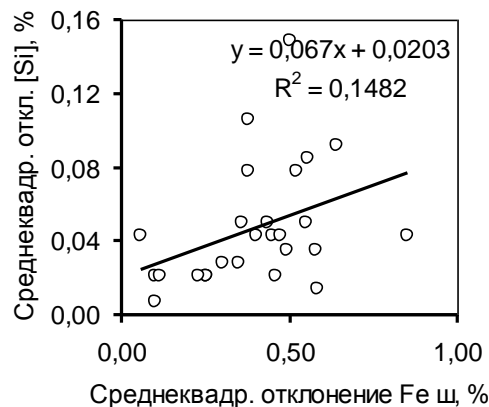


Рис. 5. Влияние колебаний содержания Fe в шихте на стабильность состава чугуна

Кроме производительности и расхода кокса большое значение имеет качество чугуна по сере. Как известно, ее содержание, главным образом, зависит от физико-химических свойств шлака и теплового состояния горна [1–3, 7]. В условиях АО «Уральская Сталь» для снижения содержания серы в чугуне целесообразно увеличивать основность шлака по показателю CaO/SiO_2 до 1,10 [5, 8, 9–11]. При этом следует учитывать, что колебания основности шлака резко ухудшают результаты десульфурации (рис. 6, 7).

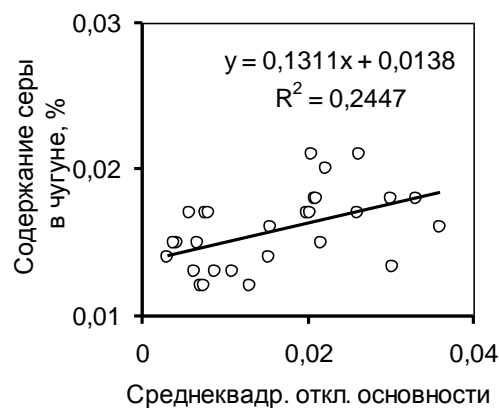


Рис. 6. Влияние колебаний основности шлака на содержание серы в чугуне

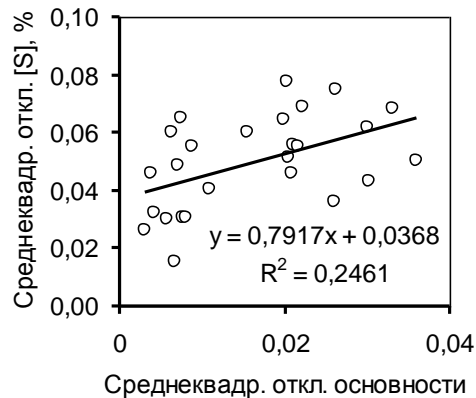


Рис. 7. Влияние колебаний основности шлака на стабильность качества чугуна

Из рис. 6 следует, что колебания основности ведут к ухудшению качества чугуна. Кроме того, рост колебаний основности (см. рис. 7) приводит к более высоким колебаниям содержания серы в чугуне, что может привести к получению некачественного чугуна.

Таким образом, колебания состава шихты и других параметров в зимние месяцы работы ведет к ухудшению ТЭП работы печи и качества чугуна. Для устранения указанных колебаний необходимо в зимние месяцы работать с более высоким тепловым запасом горна, строго контролировать работу по дозировке шихтовых материалов (в аглоцехе и на бункерной эстакаде), а также корректировать основность шлака для поддержания требуемого качества чугуна.

Список литературы

1. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса: учеб. пособие. Магнитогорск ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 257 с.
2. Metallurgiya chuguna / E.F. Vegman, B.N. Zherabin, A.N. Poxvisnev и др. М.: Metallurgiya, 1989. 512 с.
3. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.
4. Панычев А.А., Никонова А.П. Параметры агломерации михайловских и лебединских концентратов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 4. С. 18–22.
5. Шаповалов А.Н., Дружков В.Г. Повышение эффективности десульфурации чугуна. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 148 с.
6. Кропотов В.К., Дружков В.Г., Шаповалов А.Н. Анализ колеблемости показателей процесса обессеривания на доменных печах АО «ММК» // Производство чугуна: межвуз. сб. Магнитогорск: МГМА, 1997. С. 81–86.
7. Куликов И.С. Десульфурация чугуна. М.: Metallurgizdat, 1962. 306 с.
8. Овчинникова Е.В., Горбунов В.Б., Шаповалов А.Н. Оценка шлакового режима доменной плавки в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Наука и производство Урала, 2015. № 11. С. 35–39.
9. Шаповалов А.Н. Разработка сквозной технологии производства стали заданного качества в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Металлург. 2012. № 2. С. 41–43.
10. Сближение технологий выплавки стали в кислородном конвертере и дуговой сталеплавильной печи / Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Федянин А.Н., Потапова М.В., Писчаскина А.В. // Теория и технология металлургического производства. 2015. №2 (17). С. 35–39.
11. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Сомнат Басу, Потапова М.В., Дидович С.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 24–27.

Сведения об авторах

Мелеусов Алексей Иванович – горновой, АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия.

Потапов Михаил Геннадьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (раб) 8(3519)29-85-30. E-mail: potapovmg@mail.ru

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел. (раб) 8(3519)29-85-73. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ANALYSIS OF STABILITY INDICATORS OF BLAST FURNACE MELTING IN JSC "URAL STEEL"

Meleusov Aleksey Ivanovich – blast-furnace keeper, Ural Steel, Novotroitsk, Russia.

Potapov Mikhail Gennadyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Ferrous Metallurgy Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: potapovmg@mail.ru

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Foundry and Material Science Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-30. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

Abstracts. Analysis of average monthly and average daily data on the blast furnace №2 for the period from 2011 to 2013 carried out. Analysis of operational data for the monitoring period indicates significant fluctuations of operational parameters for blast furnace № 2, especially during the winter months. The poor performance of the blast furnace operation during winter months can be explained by the instability of the chemical composition of the agglomerate caused by variations of burden dosage components, increased fluctuations of coke humidity, as well as problems with s charge supplying and the stability of material loading into the blast furnace.

Fluctuations in raw material quality and stability of their loading leads to destabilization of furnace operation, that affects both an iron quality, and the furnace productivity and the coke consumption. As a result a higher productivity of blast furnace and lower coke consumption are observed during summer period in comparison to winter months. For elimination of these disadvantages it is necessary to conduct melting during winter months with higher heat reserve in blast furnace hearth, to control strictly burden dosage and to correct slag basicity as well.

Keywords: blast furnace melting, characteristic stability, output, coke consumption, iron quality.



КАК ИННОВАЦИИ ПОВЫШАЮТ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. *Что мы можем сделать для повышения нашей потребительской ценности? Какие разработки и технологии попадут в тренд? Как будет выглядеть сталеплавильное производство в следующем десятилетии? Подобные вопросы постоянно ставятся компанией Приметалз для того, чтобы сохранять лидирующую позицию на мировом рынке. В рамках сценария глобализации современного бизнеса инновации не могут более фокусироваться только на достоинствах изобретений. Они также должны уделять внимание организации процессов и ситуации на рынке.*

Ключевые слова: струйный процесс, ДСП «Quantum», «PRECON», биоферментация, Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), непрерывное производство полосы компании «Arvedi» (ESP arvedi).

1. Ключевые факторы в сталеплавильном производстве

Анализируя кривую мировых цен на горячий прокат, можно заметить, что существует значительная несоизмеримость стоимости стальной продукции, несмотря на схожесть процессов ее производства. Четыре основных ключевых фактора, определяющих стоимость стальной продукции, – сырье, энергия и окружающая среда, автоматизация, персонал и технологии производства являются главным приоритетом инновационной деятельности компании «Primetals». Цена одной тонны стали на 80 % зависит от ценовых колебаний и только 20 % от фиксированной стоимости, следовательно, становится очевидным, что вышперечисленные факторы являются определяющими разницу мировых цен на стальную продукцию.

1.1. Первый ключевой фактор – гибкость соотношения шихтовых материалов

Цена на чугун и лом постоянно меняется. Периоды роста цен следуют за периодами падения. Рыночная цена обычно следует тренду, но бывают также периоды, когда цены на лом и железную руду ведут себя не синхронно. В такие периоды либо сталь, выплавленная в кислородном конвертере либо электро-сталь будет иметь ценовое преимущество.

Струйный процесс

В случае, когда наблюдается нехватка жидкого чугуна, или в случае, когда лом или горячебрикетированное железо дешевле по сравнению с чугуном, для кислородно-конвертерного процесса может быть целесообразно повышение доли твердого скрапа в металлошихте. Компания «Primetals» развивает и оптимизирует использование донной продувки для таких целей. В этом процессе уголь вдувается через днище конвертера, в то время как кислород подается сверху.

На первом этапе процесса углерод, вдуваемый

через днище, реагирует с кислородом в ванне жидкого металла, в результате чего образуется CO, на втором этапе происходит полное окисление CO до CO₂ в верхней части рабочего пространства конвертера. Более чем 2/3 энергии выделяется на этом этапе, следовательно, высокая степень дожигания является существенной для эффективного использования химической энергии угля. Струя вносит дополнительную тепловую энергию и энергию перемешивания в конвертер. Подача угля, извести и кислорода через днище кислородного конвертера – эффективная ведущая технология компании «Primetals». Химическая энергия угля может быть использована для увеличения доли лома или ГБЖ в металлошихте кислородно-конвертерной плавки с 20 до 50%, если того требует ситуация на рынке.

1.2. Второй ключевой фактор – потребляемая энергия и окружающая среда

В настоящее время – время роста осведомленности о затратах энергии, время растущего экологического сознания и ужесточения контроля за выбросами – внедрение технологий регенерации энергии становится еще более важным. Эффективные решения по максимально полному использованию энергии играют важную роль при улучшении конкурентоспособности оборудования в целом.

Решения по утилизации и дополнительному использованию энергии – это, прежде всего, использование энергии отходящих газов различных процессов и агрегатов металлургического производства. Если это возможно, энергию напрямую возвращают в процесс, что предполагает наибольшую эффективность ее использования. В зависимости от имеющихся условий возможно производство пара или электричества. Типичный пример – использование отходящих газов кислородно-конвертерного и электросталеплавильного процессов, агломерационного производства, колошниковых газов доменной печи для производства энергии.

Снижение энергопотребления посредством автома-

тизации процессов и реконструкции существующих агрегатов является также ключевым фактором повышения эффективности металлургического предприятия.

Электросталеплавильный процесс «Квантум»

Почти во всех ДСП тепло отходящих газов остается неиспользованным. Около одной трети энергии, потребляемой при выплавке электростали, теряется с отходящими газами, имеющими температуру ~ 1400°C. Однако потребление энергии и выбросы CO₂ могут быть существенно уменьшены, если организовать предварительный нагрев лома этими отходящими газами. Такая технология применяется в настоящее время в новой ДСП «Квантум» компании «Primetals».

Первая высокопроизводительная печь такого типа вместимостью 100 т была запущена в 2014 году в Мексике на предприятии Tuasa. ДСП «Квантум» потребляет энергии на 20 % меньше, чем традиционная электродуговая печь, и имеет ряд других преимуществ: более высокую производительность, увеличение времени службы электродов, более быструю амортизацию и общее уменьшение выбросов CO₂.

«PRECON» – система энергетического управления для электрофильтров.

Электрофильтр является основным средством для удаления пыли в сталеплавильном производстве. Он поглощает около 99 % пыли из отходящих газов. Напряжение между коронирующим и осадительным электродами достигает 65 кВ. В зависимости от мощности металлургического предприятия потребление энергии колеблется от 1,4 до 2,1 кВт/т жидкой стали. Следовательно, количество энергии, потребляемое электрофильтрами, является одним из основных показателей, влияющих на ценовой фактор.

Уловители обычно работают таким образом, что предельные значения концентрации пыли в отходящих газах строго удерживаются в определенных рамках. Однако выбросы пыли из кислородного конвертера колеблются в широком диапазоне в разные периоды плавки, и эта производственная практика не соответствует требованиям энергосбережения и просто ведет к более высоким экономическим затратам. Система «PRECON» учитывает различные периоды работы конвертера в течение всего цикла плавки и регулирует подачу энергии на фильтр в соответствии с текущими условиями процесса. Это достигается точным отслеживанием потребления энергии каждым улавливающим полем и специальным программным обеспечением, обрабатывающим самые последние производственные показатели. Благодаря этому подача напряжения к фильтрам может контролироваться и оптимизироваться, что способствует снижению энергопотребления.

Валоризация конвертерных шлаков

На среднестатистическом металлургическом предприятии на тонну жидкой стали приходится более чем 400 кг шлака. В настоящее время практически весь доменный шлак подвергается мокрой грануляции и используется при производстве цемента. Для конвертерных шлаков таких технологий последующего

стабильного применения, повышающих стоимость этих самых шлаков, пока не существует.

Традиционные способы применения конвертерных шлаков в строительной области или в качестве удобрений становятся все менее привлекательными из-за ужесточения экологических ограничений и растущих требований к качеству продукции, что ведет к снижению рыночных объемов и стоимости шлаков. Кроме того, распространенный способ переработки шлака путем простого выпуска и охлаждения сопровождается выбросами пыли и потерями энергии. Инновационный способ переработки жидкого шлака, заключающийся в восстановлении содержащихся в нем оксидов железа и дальнейшего его использования в цементной промышленности, разработанный совместно *Loesche* и *Primetals*, называется *шлаковой валоризацией*. В цементной промышленности этот частично восстановленный шлак используется в качестве замены цементного клинкера, что также дает значительный экономический эффект. Кроме того, экономия энергии обеспечивается за счет использования технологии сухой грануляции шлака.

Преобразование CO в этанол путем биоферментации

В доменной печи в процессе выплавки чугуна образуются огромные количества газа CO. Выходящий из доменной печи CO, как правило, дожигается с получением электроэнергии (КПД ~ 40%). Однако этот показатель эффективности может быть существенно увеличен. В технологии биоферментации микробы могут быть использованы для преобразования монооксида углерода в биоэтанол и другие ценные промышленные химические продукты. Принимая во внимание вышесказанное, *Primetals* подписали соглашение о сотрудничестве на десять лет с *LanzaTech*, американской компанией, занимающейся газоферментацией, о разработке, оптимизации и выводе на рынок этой технологии. Инновационный процесс ферментации, разработанный *LanzaTech*, будет использоваться для преобразования богатых углеродом отходящих газов в низкоуглеродистый биоэтанол и другие химические вещества. В 2012 году этот процесс был успешно продемонстрирован на опробационных плавках в Китае на сталелитейных заводах *Baosteel* и *Shougang*.

1.3. Третий ключевой фактор – автоматизация и персонал

Иерархия автоматизации сегодня включает в себя несколько уровней (датчиков, контроллеров, процессных моделей, IT4Metals, ERP). В дальнейшем автоматизация будет выступать в качестве вертикальной интеграции сетевых производственных систем с автономными интеллектуальными единицами и встраиваемыми системами. Использование технологичных глобальных сетей на SMART предприятиях будет масштабным и гибким. Кроме того, автоматизация еще более будет опираться на моделирование и симуляцию возможностей для дальнейшего повышения эффективности процессов производства стали с точки

зрения их стабильности, прогнозирования и оптимизации (время, затраты, качество).

Процессная модель «Steel Expert»

Модели процессов *Steel Expert Primetals* оптимизируют и контролируют процессы производства стали в кислородном конвертере. *Steel Expert* непрерывно передает обслуживающему персоналу все показатели плавки (массу, температуру и химический состав). Система состоит из нескольких модулей.

Модель контроля «Dynacon» и «Steel Expert»

Во время процесса продувки модель в онлайн-режиме рассчитывает циклически реакции, протекающие в ванне жидкого металла и шлака. Это реакции окисления и восстановления, растворения кислорода и азота в металле, перераспределения серы и фосфора между сталью и шлаком и дожигания из CO и H₂. Таким образом, учитывается влияние различных продувочных и перемешивающих реагентов, а также растворение загрузочных материалов.

Модель *Dynacon* определяет содержание углерода в металле в конце продувки на основе фактических данных об отходящих газах (содержание CO, CO₂, O₂, H₂).

Модели прогнозирования «Steel Expert»

Модель предварительного расчета воссоздает весь процесс в конвертере до и после завалки лома и заливки чугуна. «*Steel Expert*» определяет оптимальный режим продувки и перемешивания ванны, а также точное время и расход подачи флюсов.

Модель «Set-point Steel Expert»

Программный пакет *Primetals Expert* включает расчет шихты первой и второй загрузки, корректировку расхода по ходу продувки и расчет подачи раскислителей и легирующих.

Последние обновления моделей

На основе накапливаемого опыта и с учетом последних разработок, таких как определение содержания углерода по ходу продувки и усвоения шлакообразующих добавок, модели постоянно актуализируются и дорабатываются.

Новый человеко-машинный интерфейс (HMI) - pure.hmi

Классические решения HMI часто не дают четкого представления о текущей деятельности предприятия. Оптимизация эффективности процессов операторами на основе интуиции затруднительна. Философия разработки нового человеко-машинного интерфейса проста: **чем меньше, тем лучше**.

Опираясь на исследования в отношении вопроса идеального контроля на металлургическом предприятии, был разработан новый *HMI-pure.hmi*, который выполняет три основные функции в приложениях:

- интегрированный дизайн;
- индивидуальные предпочтения просмотра;
- контекстно-зависимое руководство для оператора.

Pure.hmi гарантирует, что операторы всегда получают самые актуальные данные, и система обеспе-

чивает мгновенный доступ в Интернет и последнюю «свежую» информацию. Четкий и легко понятный интерфейс управления сокращает время на обучение, позволяет уменьшить время простоя оборудования и снизить требования к техническому обслуживанию.

1.4. Четвертый ключевой фактор – продукция и процессы

Производство ходовых марок стали остается весьма конкурентной областью из-за присутствия большого числа производителей на рынке.

Повышение конкурентоспособности все еще может быть достигнуто за счет постоянной реконструкции и обновления оборудования, использования новейших технологий и систем автоматизации, а также за счет специализации на производстве *исключительно нового* продукта.

За последние несколько лет *Primetals* разработал энергоэффективную технологию по производству горячекатаных рулонов непосредственно из жидкой стали. Известный как *Arvedi ESP* (непрерывное производство полосы) процесс был разработан и внедрен на сталелитейном заводе итальянского производителя *Acciaieria Arvedi SpA* в Кремоне.

Литую сталь на этапе от разлива до прокатки и смотки получают непрерывным способом. Благодаря непрерывному режиму для обеспечения температуры процесса горячей прокатки (1200°C) требуется значительно меньший вторичный нагрев заготовки. Это позволяет снизить потребление энергии на 45 %, уменьшить производственные затраты и выбросы CO₂, увеличить производительность. Кроме предприятия *Arvedi ESP* в Кремоне, работающего с июня 2009 г., в Китае было запущено оборудование *Arvedi ESP* в начале 2015 г. Еще один заказ был получен от постоянного потребителя на обслуживание трех предприятий с общим готовым объемом производства более 11 млн т высококачественной ультратонкой горячекатаной полосы.

Выводы:

1. На эксплуатационные расходы в основном влияют переменные затраты, на долю которых приходится 80 % от общей суммы затрат. Ключевые факторы – это гибкость использования шихтовых материалов, энергия и окружающая среда, автоматизация и персонал, продукты и процессы.
2. Новые процессы, такие как струйный, позволяют производить сталь с использованием более широкого диапазона загрузочных материалов.
3. Экономия энергии зависит не только от вторичного использования тепла отходящих газов, но и за счет повышения эффективности управляющей системы.
4. Новый процесс *Quantum* для ДСП имеет большой потенциал благодаря экономии за счет предварительного подогрева шихты отходящими газами.
5. Валоризация конвертерного шлака и переработка CO с использованием технологии биоферментации также способствуют получению дополнительной прибыли.
6. Персонал получит возможность пользоваться

новыми процессными моделями и новым человеко-машинным интерфейсом для повышения эффективности производства.

7. Arvedi предлагает технологию непрерывного производства полосы.

Список литературы

1. P.Marcus, K.Kirsis; Steel Success Strategies XXIX, 2014, World Steel Dynamics.
2. G. Wimmer et al; Jet Process for highest converter input flexibility; AISTech 2014, USA.

3. D. Bettinger, G. Enick; Innovative Waste Heat Recovery Solutions; ESTAD'14, Paris.
4. EAF Quantum; The future of efficient steelmaking; Siemens VAI Brochure, 2014.
5. PRECON; Press release Siemens News Center, 11.Dec. 2014.
6. G. Wimmer, H.Wulfer et al.; BOF Converter Slag Valorization; AISTech 2014, USA.
7. The new pure.hmi for the metal industry; Siemens VAI Brochure, 2014.
8. A. Jungbauer et al; Next Arvedi ESP installations in China: High-Quality, ultra-thin strip to enter new markets; AIS Tech 2014.
9. S. Bragin, J. Watzinger, et al; Influence of thin slab thickness on final strip properties in Arvedi ESP Plant; ECCO 2014.

Сведения об авторах

Андреас Флик – Primetals Technologies, Австрия, Линц.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

HOW INNOVATION INCREASES COMPETITIVENESS IN STEELMAKING

Andreas FLICK - Primetals Technologies, Austria GmbH, A-4031, Linz, Austria.

Abstract. *What can we do to increase our customer's value? Which developments and technologies will set a trend? How will Steelmaking look like in the next decades? At Primetals questions like these are constantly asked during the technology & innovation process to maintain our position as a leading lifecycle partner. Within today's global business scenario, innovations can no longer focus only on the technological merits of an invention, but must consider the aspects of organization/process as well as the market situation.*

Keywords: *jet process quantum EAF, PRECON, bio Fermentation, steel expert, HMI, arvedi ESP.*



УДК 669

Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Шевченко О.И., Корогодский А.Ю.

К ВОПРОСУ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ МЕТАЛЛА В ВАКУУМАТОРЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТИПА

Аннотация. *Рассмотрен вопрос удаления водорода с поверхности жидкого металла в циркуляционном вакууматоре. Процесс удаления водорода с поверхности металла в вакуум-камере циркуляционного вакууматора длителен и происходит медленно. Расчеты показывают, что удаление водорода с поверхности металла в вакуум-камере циркуляционного вакууматора недостаточно для получения низкого остаточного содержания водорода.*

Ключевые слова: *удаление водорода, циркуляционный вакууматор, дегазация металла.*

В настоящее время требования к качеству вакуумированного металла возрастает. Возможно, это связано с повышением требований к качеству выплавляемой стали.

На металлургических заводах в основном используют вакууматоры циркуляционного и ковшевого типа, отличающиеся как конструкцией, так и способом вакуумирования. В зависимости от технологической цепочки выплавки стали и поставленных задач используют тот или иной тип вакууматора.

Несмотря на распространенность данных агрега-

тов, теоретические вопросы изучены недостаточно глубоко [1–4]. В особенности это касается циркуляционного вакуумирования.

Известно, что удаление газов возможно по следующим путям (рис. 1 [2]):

1. Первый путь – это непосредственный переход водорода из металла в окружающее пространство.
2. Второй путь – это образование пузырей газа в металле и их непосредственное всплытие.
3. Третий путь – это зарождение пузырей водорода на границе огнеупорной кладки с металлом.
4. Четвертый путь – удаление водорода при продувке металла нейтральным газом, например аргоном.

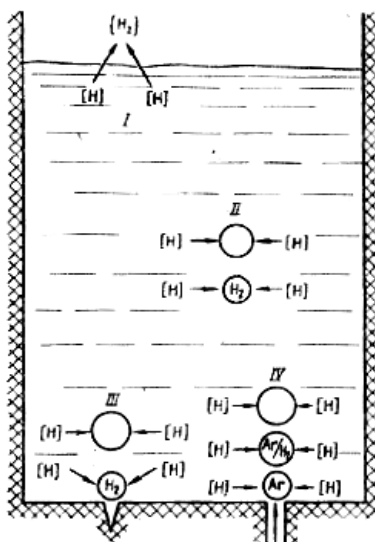


Рис. 1. Пути удаления водорода из металла

Известно, что удаление газов при циркуляционном вакуумировании идет двумя путями – это удаление с поверхности металла и транспортирующим газом, вдуваемым во впускной патрубок (рис. 2) [1]. Однако до конца не выявлено, какой из представленных механизмов является преобладающим.

Цель данной работы является определение количества водорода, удаляемого с поверхности металла в вакуум-камере.

На первоначальном этапе рассчитаем скорость всплытия пузырьков водорода. Цель данных расчетов заключается в установлении зоны дегазации с поверхности вакуум-камеры.

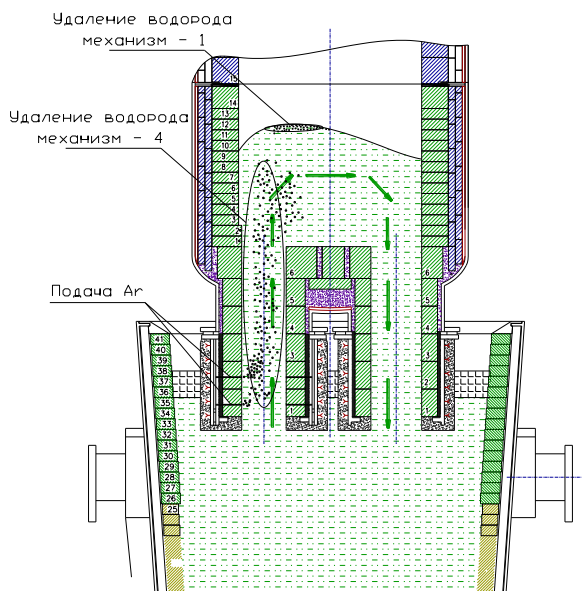


Рис. 2. Схема удаления водорода в вакуум-камере циркуляционного типа

Зародыши газовых пузырей способны к росту только в том случае, если их внутреннее давление, по крайней мере, равно внешнему. Внутреннему давлению

в пузыре соответствует давление насыщения p – равновесное давление, которое устанавливается в зависимости от концентраций соответствующих элементов [2]. Поэтому справедливо следующее выражение [2]:

$$p = P + \rho \cdot g \cdot h + \frac{2 \cdot \delta}{r_k}, \quad (1)$$

где P – внешнее давление, ат;

$\rho \cdot g \cdot h$ – давление столба металла, ат;

$\frac{2 \cdot \delta}{r_k}$ – капиллярное давление, ат.

Из уравнения (1) можно рассчитать критический радиус пузыря водорода, а также глубину его зарождения [2].

Зависимость глубины зарождения пузырьков водорода от его содержания в стали показана на рис. 3.

Выяснилось, что при глубине, близкой к «критической», т.е. глубине зарождения, их размер из-за влияния поверхностного натяжения должен быть необычайно большим (например, более 5 см), что на практике не наблюдается. Поэтому данный вопрос, возможно, требует дополнительного исследования.

Скорость всплытия пузырьков газа зависит от их диаметра. По данным [4], для расчета скорости всплытия (м/с) при диаметре пузырей газа от 0,75 до 20 мм можно использовать следующую формулу:

$$W_n = \left(g \cdot r_k + \frac{\delta}{\rho_{ж} \cdot r_k} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где r_k – радиус всплывающего пузыря, м;

δ – величина межфазного натяжения, по данным [4] для жидкого металла принимаем 1,85 Дж/м².

Скорость всплытия пузырей газа в зависимости от глубины их зарождения находится в интервале от 0,318 до 0,5 м/с.

Рассчитав скорость всплытия пузырьков газа, приступим к решению второго этапа – расчета удаления водорода поверхности вакуум-камеры во времени.

Удаление водорода в циркуляционном вакууматоре, по данным [2], описывается уравнением:

$$\frac{c_E^0 - c_p}{c_E^0 - c_p} = e^{-\beta \cdot t}. \quad (3)$$

Тогда конечное содержание водорода c_E^0 будет равно

$$c_E^0 = c_p + (c_E^0 - c_p) e^{-\beta \cdot t}, \quad (4)$$

где c_E^0 – концентрация газа в металле, втекающем в вакуумную камеру в момент времени $t=t$, ppm;

c_E^0 – концентрация газа в металле, втекающем в вакуумную камеру в момент времени $t=0$, ppm;

c_p – равновесная концентрация газа в металле в вакуум-камере, ppm;
 t – время обработки металла, с.

$$\beta = \left[\left(\frac{V}{V^*} - 1 \right) \cdot \left(\frac{V^*}{\dot{V}} + \frac{V^*}{K^* \cdot F^*} \right) \right]^{-1}, \quad (5)$$

где V – объем металла в сталеразливочном ковше;

V^* – объем металла, находящегося в вакуумной камере, доли ед.;

\dot{V} – объем металла, протекающего в единицу времени, доли ед.;

K^* – коэффициент массопереноса, см/с.

F^* – поверхность дегазации порций металла, см².

Следует отметить, что \dot{V} существенно зависит от содержания водорода, т.е. при снижении содержания водорода объем поверхностного вакуумированного металла будет уменьшаться, что необходимо учитывать при расчетах.

Используя формулу (3), рассчитаем скорость удаления водорода с поверхности вакуум-камеры. Данные представлены на рис. 4.

Удаление водорода в вакуум-камере циркуляционного вакууматора по данным [4] и расчетное удаление водорода только с поверхности вакуум-камеры представлено на рис. 5.

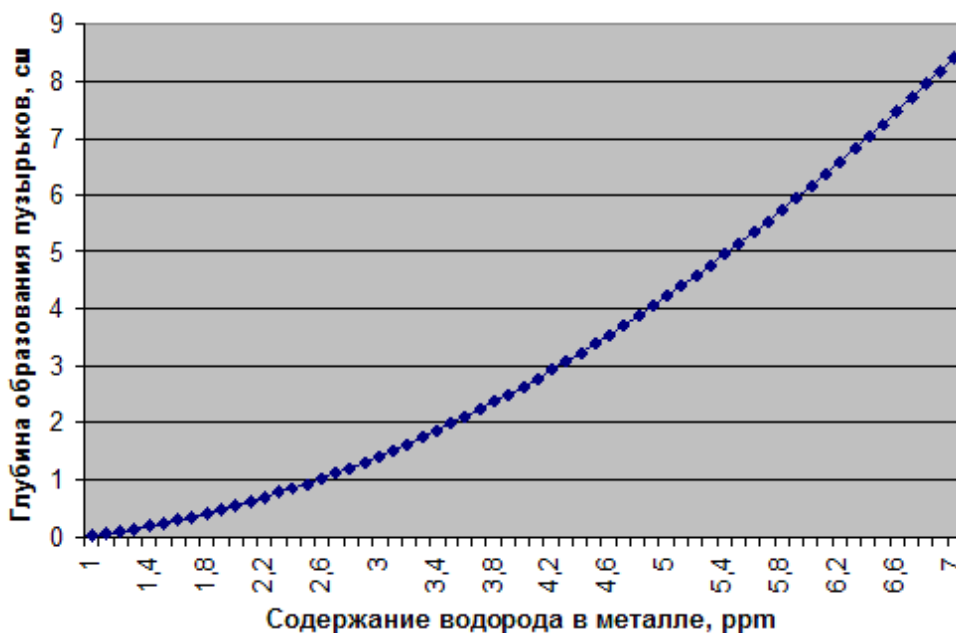


Рис. 3. Глубина зарождения пузырьков водорода в зависимости от его содержания в металле

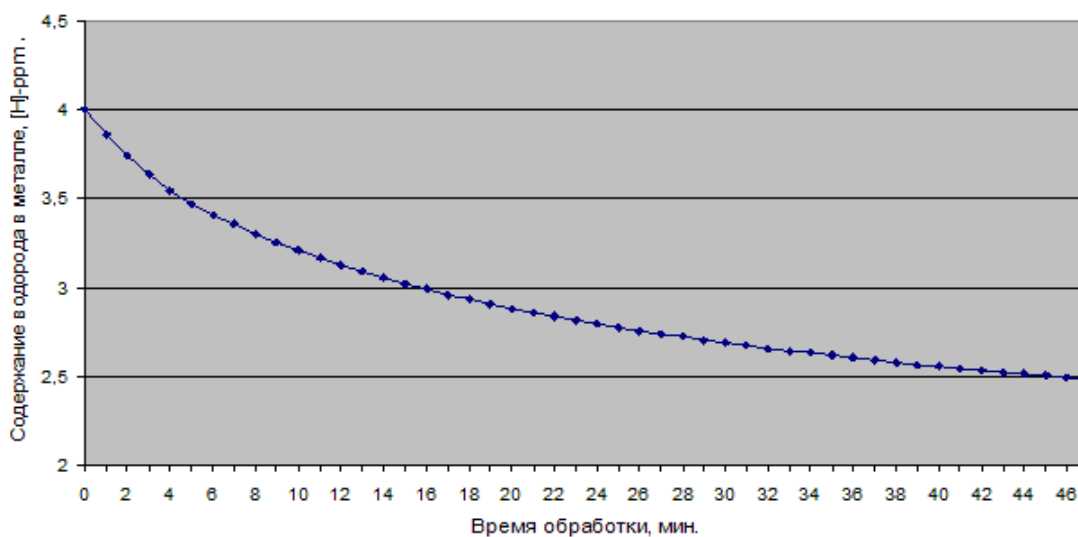


Рис. 4. Расчетное изменение содержания водорода в стали с поверхности металла при вакуумировании на RH-установке в зависимости от времени обработки

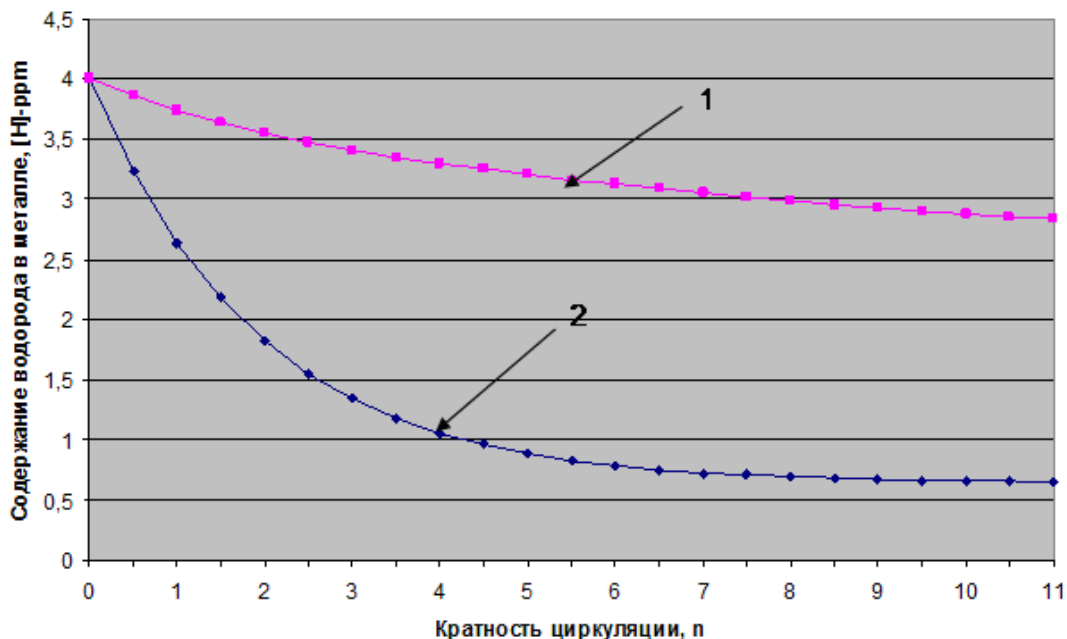


Рис. 5. Изменение содержания водорода в стали при вакуумировании в RH-установке в зависимости от кратности циркуляции:

1 – удаление только с поверхности; 2 – комбинированное, удаление с поверхности и пузырьками транспортирующего газа

Выводы:

1. Процесс удаления водорода с поверхности металла в вакуум-камере циркуляционного вакууматора длителен и происходит медленно.

2. Удаление водорода с поверхности металла в вакуум-камере циркуляционного вакууматора недостаточно для получения низкого остаточного содержания водорода (после 45 мин обработки вакуумом содержание [H] изменилось с 4 до 2,5 ppm).

Список литературы

1. Бигеев А.М., Бигеев В.А. *Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп.* Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
2. Кнюппель Г. *Раскисление и вакуумная обработка стали. Термодинамические и кинетические закономерности.* М.: Металлургия, 1973. 312 с.
3. Кнюппель Г. *Раскисление и вакуумная обработка стали. Основы и технология ковшовой металлургии.* М.: Металлургия, 1984. 414 с.
4. Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И. *Внепечные и ковшевые процессы обработки стали: учеб. пособие для вузов.* Новокузнецк: СибГИУ, 2006. 181 с.
5. Попель И.С. *Поверхностные явления в расплавах.* М.: Металлургия, 1994. 432 с.

Сведения об авторах

Шешуков Олег Юрьевич – д-р техн. наук, зав. лабораторией пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН, Екатеринбург, Россия. Тел. (343) 2679715. E-mail: ferro1960@mail.ru.

Некрасов Илья Владимирович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН, Екатеринбург, Россия. Тел. (343) 2329019. E-mail: ivn84@bk.ru.

Метелкин Анатолий Алексеевич – ассистент кафедры металлургии железа и сплавов Уральского федерального университета им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина (филиал – Нижнетагильский технологический институт), Россия. Тел. (343) 2679715. E-mail: anatoliy82@list.ru.

Корогодский Алексей Юрьевич – главный специалист ОАО «ЕВРАЗ НТМК», Нижний Тагил, Россия.

Шевченко Олег Игоревич – д-р техн. наук, проф., начальник отдела металлургических технологий, Нижнетагильский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT HYDROGEN REMOVAL FROM METAL IN CIRCULAR TYPE DEGASSER

Sheshukov Oleg Jurevich – D.Sc. (Eng.), Manager of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS, Ekaterinburg, Russia. Phone: (343) 2679715. E-mail: ferro1960@mail.ru

Nekrasov Ilya Vladimirovich – Ph.D (Eng.), scientific employee of Laboratory of ferrous metals, IMET UB RAS, Ekaterinburg, Russia. Phone: (343) 2329019. E-mail: ivn84@bk.ru

Metelkin Anatoly Alekseevich – Assistant, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin (branch - Technology Institute of Nizhniy Tagil), Russia. Phone: (343) 2679715. E-mail: anatoliy82@list.ru

Korogodskii Alexey Yurevich – main specialist, office steel secondary treatment, technical management of JSC «EVRAZ NTMK», Nizhny Tagil, Russia

Shevchenko Oleg Igorevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Metallurgical Technology, the Ural Federal University. First President of Russia BN Yeltsin Nizhny Tagil Institute of Technology (Branch), Nizhny Tagil, Russia

***Abstract.** Problem of hydrogen removal from the surface of liquid metal in circular type degasser is studied. Calculations show that hydrogen removal from the surface of liquid metal in circular type degasser is not enough for require final hydrogen content achievement.*

***Keywords:** hydrogen removal, circular type degasser, metal degassing.*



ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ

УДК 669.18:669.054.8

Портнова И.В., Ячиков И.М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ ЖИДКОЙ ВАННЫ

***Аннотация.** Предложена математическая модель, описывающая влияние интенсивности движения расплава на динамику нагрева и плавления ферромарганца. Допущено, что куски ферромарганца имеют форму шара. Проведено компьютерное моделирование растворения куска ферромарганца от момента попадания его в расплав до полного расплавления. Получено распределение температуры по радиусу шарового тела ферромарганца для разных моментов его нагрева и плавления. Установлено, что скорость расплава в ванне существенно влияет на время расплавления кусков ферромарганца, время полного расплавления зависит от температуры расплава и пропорционально радиусу шарового куска ферромарганца.*

***Ключевые слова:** математическая модель, ферромарганец, легирование, время плавления, шаровое тело, время расплавления.*

В чёрной металлургии используют различные ферросплавы для раскисления, легирования и модифицирования стали, получения легированного чугуна и различных сплавов. Для разных марок стали ферросплавы вводятся на разных технологических этапах. Низкое усвоение элементов ферросплавов, как правило, связано с тем, что их плотность меньше плотности стали, а температура плавления выше, чем температура расплава металла. Увеличить степень их усвоения возможно при использовании принудительного перемешивания, при этом можно улучшать и другие характеристики, например сокращение времени растворения ферросплава.

Одним из возможных способов перемешивания расплава в ДППТ является кондукционное перемешивание. Его особенность – возможность управления интенсивностью в разных частях ванны, что связано с изменением напряженности магнитного поля в разных областях токонесущего расплава от внешних проводников с током. Для этого внешнее магнитное поле предлагается создавать шиной токоподвода к подовому электроду, выполненной в виде пространственной винтовой линии, имеющей один или несколько витков одного или разного диаметра или плоской спирали. Внутри винтовой линии может находиться сердечник из ферромагнитного материала, перемещением которого в вертикальном и горизонтальном направлениях можно управлять величиной напряженности магнитного поля в разных областях токонесущего расплава ванны [1, 2].

Математическая модель для определения магнитного поля в ванне ДППТ при использовании токоподводящей шины к подовому электроду в форме винтовой линии либо в виде плоской или простран-

ственной спирали Архимеда подробно рассмотрены в работах [3, 4], на основе которой разработана программа «Расчет магнитного поля вблизи токоподводов различной конфигурации» [5].

Одним из возможных способов изучения процессов нагрева и плавления ферросплавов является математическое моделирование, которое позволяет изучать и прогнозировать процесс усвоения добавок в зависимости от условий ввода в металлический расплав и формировать направления поиска в повышении усвоения дорогостоящих материалов.

В работе [6] на основе математического моделирования был разработан метод расчета скорости плавления ферросплава. В работе [7, 8] авторы моделировали процесс плавления хромосодержащих ферросплавов в железоуглеродистом расплаве. В работе [9] была разработана математическая модель процессов плавления тугоплавких кусковых добавок на границе раздела фаз «шлак – металл» и её опробование для оценки продолжительности плавления таких добавок в зависимости от технологических факторов. В работе [10] предложена методика математического моделирования температурного состояния теплофизической системы частица–расплав с фазовыми переходами типа плавление–затвердевание. В работе [11] описана математическая модель и метод определения длительности плавления кремнистых (ФС25, ФС45 и ФС75) ферросплавов в железоуглеродистом расплаве. Но все рассмотренные математические модели плавления ферросплава выполнялись без учета движения расплава металла.

Целью работы являлось изучение влияния интенсивности движения расплава на динамику нагрева и плавления кусков ферромарганца.

Для создания компьютерной программы в математической модели приняты следующие допущения:

- между сталью и ферромарганцем нет химических реакций с выделением или поглощением теплоты;

- куски ферромарганца имеют сферическую форму;

- процессом «намерзания» и расплавления корочки можно пренебречь из-за относительно небольшого времени протекания этих процессов;

- в сферической системе координат, связанной с центром шарового тела (ШТ), имеем осесимметричное температурное поле. Ферромарганец в виде ШТ участвует в теплообменных процессах с расплавом;

- тепло внутри ШТ распространяется только за счет теплопроводности, не учитывается влияние вынужденной и свободной конвекции;

- теплофизические свойства твердой, жидкой фазы стального тела постоянные;

- при взаимодействии ферромарганца с расплавом не выделяется и не поглощается тепло.

Процесс взаимодействия шарообразного тела ферромарганца с движущимся расплавом представлен на рис. 1. Считаем, что удаление жидкой фазы ФМн происходит по мере его расплавления.

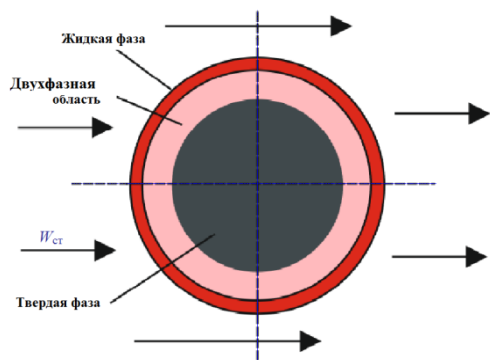


Рис. 1. Нагрев и плавление шарообразного тела ФМн при его обтекании жидкой сталью

С учетом принятых допущений и ограничений температурное поле в ШТ описывается одномерным уравнением теплопроводности в сферической системе координат ($\partial T/\partial \psi = 0$, $\partial T/\partial \theta = 0$) с учетом выделения тепла кристаллизации [17]

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} - \rho L \frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right),$$

где τ – время;

$T(r, \tau)$ – температура металла;

g – доля твердой фазы, причем доля жидкой фазы

$S = 1 - g$.

Используя подстановку $\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{\partial g}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \tau}$, это уравнение примет следующий вид:

$$c_{эф}\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial T}{\partial r} \frac{\partial \lambda}{\partial r} + \frac{2\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r}. \quad (1)$$

На основе допущения о постоянстве теплофизических свойств твердой, жидкой фазы стального тела, учитывая, что $\lambda_{мж} \approx \lambda_{мт}$, можно принять $\partial \lambda/\partial r = 0$ и упростить уравнение (1).

$$c_{эф}\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right). \quad (2)$$

В полученном уравнении коэффициент теплопроводности

$$\lambda(r, T) = \begin{cases} \lambda_{мж}, & \text{при } T > t_{млик}; \\ \lambda_{мт}g + \lambda_{мж}(1-g), & \text{при } t_{мсол} \leq T \leq t_{млик}; \\ \lambda_{мт}, & \text{при } T < t_{мсол}; \end{cases} \quad (3)$$

плотность металла

$$\rho(r, T) = \begin{cases} \rho_{мж}, & \text{при } T > t_{млик}; \\ \rho_{мт}g + \rho_{мж}(1-g), & \text{при } t_{мсол} \leq T \leq t_{млик}; \\ \rho_{мт}, & \text{при } T < t_{мсол} \end{cases} \quad (4)$$

эффективный коэффициент теплоемкости

$$c_{эф}(r, T) = \begin{cases} c_{мж}, & \text{при } T > t_{млик}; \\ c_{мт}g + c_{мж}(1-g) - L \frac{dg}{dT}, & \text{при } t_{мсол} \leq T \leq t_{млик}; \\ c_{мт}, & \text{при } T < t_{мсол}. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения тепловой задачи количество твердой фазы в интервале затвердевания будем определять по линейному закону [17]

$$g = \frac{t_{млик} - T}{t_{млик} - t_{мсол}}, \quad (6)$$

где $t_{млик}$, $t_{мсол}$ – температуры ликвидуса и солидуса соответственно, которые, в свою очередь, зависят от среднего химического состава ферромарганца.

Для решения дифференциального уравнения (2) необходимо дополнить его начальным и граничными условиями.

Начальные условия

Начальная температура ШТ при $\tau=0$ для $0 \leq r \leq r_0$

$$T(r, 0) = t_{м0}. \quad (7)$$

Граничные условия

В центре ШТ (условие осевой симметрии при $r=0$)

$$\frac{\partial T}{\partial r}(0, \tau) = 0. \quad (8)$$

На границе ШТ и жидкой стали (граничное условие 3 рода)

$$\lambda \frac{\partial T(r_\xi, \tau)}{\partial r} = \alpha(t_{\tau 0} - T(r_\xi, \tau)), \quad (9)$$

где α - коэффициент теплоотдачи от жидкой стали к ШТ;
 r_ξ - координата жидкой и межфазной области, где
 $T = t_{\text{Млик}} (g(r, \tau) = 0)$. Если во всех точках ШТ
 $T(r, \tau) < t_{\text{Млик}}$, то $r_\xi = r_0$.

Коэффициент теплоотдачи α для одиночного шара определяется по эмпирической формуле [18]

$$Nu_l = 2 + 0,03Pr^{0,33}Re^{0,51} + 0,35Pr^{0,35}Re^{0,58}, \quad (10)$$

где $Re = \frac{2r_\xi \cdot W_T}{\nu_T}$; $Nu_l = \frac{2r_\xi \cdot \alpha}{\lambda_T}$, $Pr = \frac{\nu_T c_T \rho_T}{\lambda_T}$.

Рассмотрена выплавка стали 110Г13Л в дуговой печи постоянного тока, где плавка ведется методом переплава в ванне с основной футеровкой. Шихта состоит из собственного возврата, амортизационного лома, низкосортного марганцесодержащего отвалного лома этой же марки стали. В восстановительный период добавляется кусковой ФМн75 1 или 2 класса. Размер кусков составляет 20-100 мм.

Методом математического моделирования исследовался процесс расплавления твердого куска ферромарганца в жидкой сталеплавильной ванне с учетом его обтекания жидким металлом со скоростью W_T и температурой t_{T0} . Изучалось тепловое состояние ферромарганца, динамика его нагрева и плавления при заданных технологических параметрах и известных теплофизических свойствах ферромарганца [14, 15] и стали [16]. Исходные данные при моделировании процесса взаимодействия ФМН75 с жидким расплавом металла.

I. Технологические и геометрические параметры процесса

Эквивалентный диаметр ШТ ферромарганца	$d = 2r_0 = 40-100$ мм.
Температура жидкой стали	$t_{T0} = 1380$ °С.
Начальная температура ферромарганца	$t_{M0} = 20$ °С.
Скорость движения стали вблизи ШТ [12, 13]	$W_{CT} = 0-0,34$ м/с.

II. Теплофизические свойства ферромарганца

Средний химический состав					
Элемент	C	Mn	Si	S	P
Содержание, масс. %	7,0	70,0	6,0	0,03	0,03
Плотность жидкого ферромарганца $\rho_{Мж} = 6372$ кг/м ³ .					
Кажущаяся плотность твердого ферромарганца $\rho_{MT} = 6970$ кг/м ³ .					
Удельная теплоемкость жидкого ферромарганца $c_{Мж} = 747$ Дж/(кг К).					

Удельная теплоемкость затвердевшего ферромарганца	$c_{MT} = 651$ Дж/(кг К).
Коэффициент теплопроводности жидкого ферромарганца	$\lambda_{Мж} = 24$ Вт/(м К).
Коэффициент теплопроводности затвердевшего ферромарганца	$\lambda_{MT} = 20$ Вт/(м К).
Теплота плавления ферромарганца	$L = 286$ кДж/кг.
III. Теплофизические свойства жидкой стали 110Г13Л	
Температура ликвидуса	$t_{\text{пл}} = 1331$ °С.
Плотность жидкой стали	$\rho_T = 7000$ кг/м ³ .
Удельная теплоемкость жидкой стали	$c_T = 653,172$ Дж/(кг К).
Коэффициент теплопроводности жидкой стали	$\lambda_T = 46,5$ Вт/(м К).
Коэффициент кинематической вязкости жидкой стали	$\nu_T = 8,57 \cdot 10^{-7}$ м ² /с.

Проведено исследование изменения размера куска ферромарганца от момента попадания его в расплав до полного расплавления (при $d=60$ мм). Установлено, что наибольшее время требуется при полном отсутствии перемешивания металла ($W_{CT}=0$). Уже при относительно небольшой скорости течения металла $W_{CT} = 0,1$ мм/с в ванне ДППТ время расплавления заметно уменьшается (рис. 2, кривая 2). При существующих скоростях расплава в ванне 0,12–0,35 м/с время расплавления по сравнению с неподвижным расплавом снижается в 6–10.

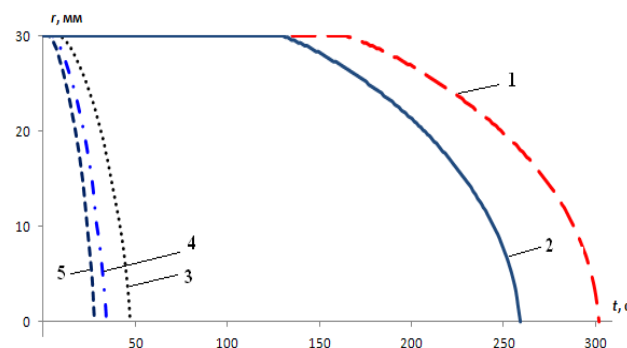


Рис. 2. Изменение радиуса ФМн от времени до его полного расплавления при разных скоростях W_{CT} , м/с: 1 – 0,0001; 2 – 0,0001; 3 – 0,1; 4 – 0,2; 5 – 0,3

На компьютерной модели изучалось, как изменяется радиус шарового тела ферромарганца при попадании его в жидкометаллическую ванну до его полного расплавления в зависимости от начального радиуса (рис. 3). Установлено, что время расплавления зависит от температуры расплава и пропорционально радиусу ферромарганца, для $t_{T0} = 1380$ °С время расплавления (с) может быть описано уравнением $\tau_{\text{распл}} = 1,42r_0 - 13,7$ (коэффициент корреляции 0,998).

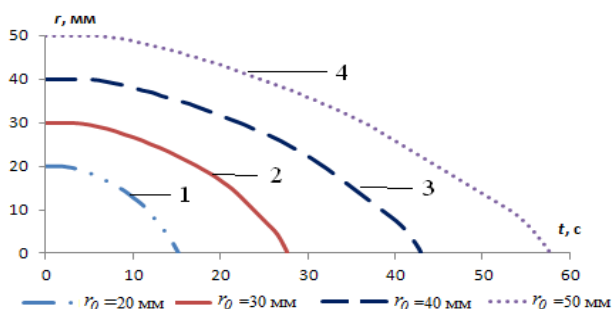


Рис. 3. Изменение радиуса куска ферромарганца от времени нахождения в жидкой стали до полного расплавления при разных начальных размерах:
 1 – $r_0=20$ мм; 2 – $r_0=30$ мм; 3 – $r_0=40$ мм;
 4 – $r_0=50$ мм; (при $W_{cm}=0,3$ м/с)

Было получено распределение температуры по радиусу шарового тела ферромарганца для разных моментов его нагрева и плавления (рис. 4). Установлено, что с увеличением скорости движения расплава время плавления куска ферромарганца одинакового размера при прочих равных условиях снижается примерно на 20 %.

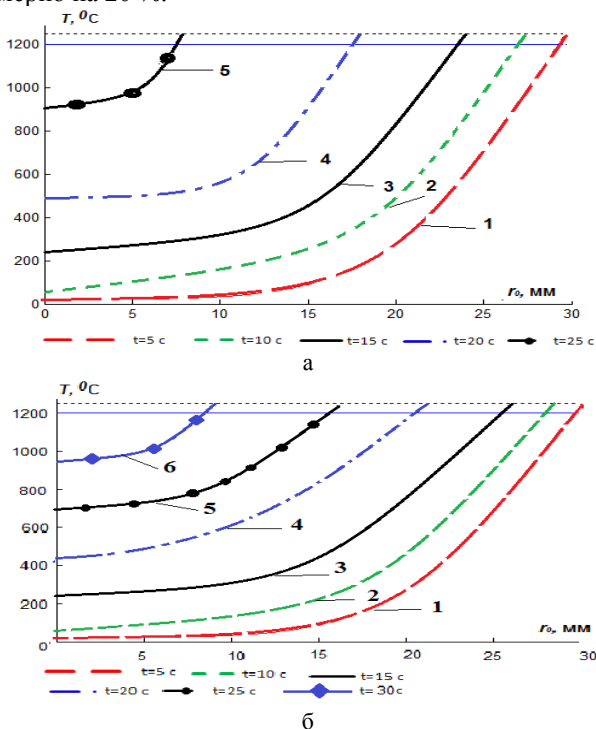


Рис. 4. Динамика изменения температуры по радиусу ферромарганца в разные моменты времени при $r_0=30$ мм, $W_{cm}=0,3$ м/с (а) и $W_{cm}=0,2$ м/с (б); время полного расплавления 27,7 с (а) и 34,4 с (б):
 1 – 5 с; 2 – 10 с; 3 – 15 с; 4 – 20 с; 5 – 25 с; 6 – 30 с

Таким образом, изучалось плавление ферромарганца от времени движения жидкой ванны при скорости до 0,3 м/с. Дальнейшее увеличение скорости может привести к разрушению подины печи.

Выводы:

1. Предложена математическая модель, позволяющая определять тепловое состояние куска ферро-

сплава при вынужденном движении расплава.

2. Установлено, что время полного расплавления зависит от температуры расплава и пропорционально радиусу шарового куска ферромарганца.

3. С помощью компьютерного моделирования проанализирована динамика нагрева и плавления кусков ферромарганца диаметром 20-100 мм. Установлено, что скорость расплава в ванне существенно влияет на время расплавления кусков ферромарганца. Так, при скорости 0,1 м/с время расплавления по сравнению с неподвижным металлом снижается в 6 раз, а при скорости 0,3 м/с – в 10 раз.

Список литературы

1. Пат. 119556 на ПМ РФ, МКИ⁷ H05B 7/20. Электродуговая печь постоянного тока / Портнова И.В., Ячиков И.М., Харченко О.А.
2. Пат. 126810 на ПМ РФ, МКИ⁷ F27B3/08. Электродуговая печь постоянного тока / Ячиков И.М., Портнова И.В., Залаяудинов Р.Ю.
3. Ячиков И.М., Залаяудинов Р.Ю. Исследование магнитного поля в ванне дуговой печи постоянного тока при разной форме токоподводящей шины к подовому электроду // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 3. С. 58–63.
4. Ячиков И.М., Портнова И.В. Поведение магнитного поля в ванне ДППТ при разной конструкции токоподводящей шины к подовому электроду // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1. С. 76–81.
5. Портнова И.В., Ячиков И.М., Яковлев А.Д. Расчет магнитного поля вблизи токоподводов различной конфигурации: Свидетельство РФ о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014661999. ОБПТБ. 2014. № 12, С. 589.
6. Болотов Б.В., Бигеев А.М., Девятков Д.Х. Математическое моделирование процесса плавления ферросплавов в сталеразливочном ковше // Изв. вузов. Черная металлургия. 1983. № 10. С. 156–157.
7. Лозовая Е.Ю., Жучков В.И., Шешуков О.Ю. Математическое моделирование процесса плавления ферросплавов в железоуглеродистом расплаве // Труды 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Моделирование, программное обеспечение и наукоёмкие технологии в металлургии» / под общ. ред. С.П. Мочалова. Новокузнецк, 2006. С. 77–85.
8. Жучков В.И., Андреев Н.А., Лозовая Е.Ю. Математическое моделирование процесса плавления хромосодержащих ферросплавов в железоуглеродистом расплаве // Расплавы. 2015. № 3. С. 19–26.
9. Разработка моделей и исследование процессов плавления тугоплавких добавок на границе раздела фаз / И.А. Павлюченков, В.П. Пиптюк, М.В. Бабенко и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Днепропетровск, 2009. Вып. 20. С.100–113.
10. Соколовская Л.А., Осипов В.П., Малышев В.А. Использование математического моделирования при исследовании теплофизических процессов взаимодействия расплава с твердыми добавками // Процессы литья. 2000. №4. С.72–78.
11. Изучение влияния технологических факторов на время плавления кремнистых ферросплавов в жидком металле / Е.Ю. Лозовая, А.В. Некрасов, В.И. Жучков и др. // Расплавы. 2001. №3. С.10–17.
12. Математическое моделирование электромагнитного перемешивания жидкой стали в дуговой печи постоянного тока / С.А. Смирнов, В.В. Калаев, С.М. Нехамин и др. // Теплофизика высоких температур, 2010. Т. 48, № 1. С. 74–83.
13. Егоров А.В. Современная дуговая сталеплавильная печь // Металлургическая теплотехника: история, современное со-

- стояние, будущее: труды III Международной научно-практической конференции. Москва, 2006. С. 279–286.
14. Физико-химическая оценка свойств промышленных ферросплавов / В.П. Пиптюк, А.Ф. Петров, С.В. Греков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. трудов. Днепропетровск, 2007. Вып. 14. С. 235–243.
15. ГОСТ 4755-91. Ферромарганец. Технические требования и условия поставки.
16. Физико-химические основы металлургических процессов / А.А. Жуховицкий, Д.К. Белашенко, Б.С. Бокштейн и др. М.: Металлургия, 1973. 392 с.
17. Борисов В.Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка. М.: Металлургия, 1987. 224 с.
18. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.

Сведения об авторах

Портнова Ирина Васильевна - ответственный секретарь управления информационной политики ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. 8(3519)29-85-63. E-mail: iragzt@mail.ru.

Ячиков Игорь Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры ВТиП ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. 8(3519)29-85-63. E-mail: jachikov@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SIMULATION OF THE PROCESS OF DISSOLUTION OF FERROMANGANESE UNDER FORCED STIRRING LIQUID BATH

Portnova Irina Vasilevna – Executive Secretary of the Information Policy Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-63.

Yachikov Igor Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-63. E-mail: jachikov@mail.ru.

***Abstracts.** A mathematical model describing the influence the intensity of the movement of the melt dynamics of heating and melting ferromanganese. It admitted that ferromanganese pieces have a spherical shape. A computer simulation of the dissolution of ferromanganese piece from the moment it enters the melt until completely melted. The distribution of temperature along the radius of the spherical body ferromanganese different moments for heating and melting it. It is found that the melt flow rate in the bath significantly affects the melting pieces ferromanganese complete melting time depends on the melt temperature and proportional to the radius of the spherical piece ferromanganese.*

***Keywords:** mathematical model, ferromanganese, alloying, melting time, globular body, the melting.*



ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.743

Илларионов И.Е.

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Аннотация. Рассмотрены некоторые вопросы улучшения качества отливок из черных и цветных металлов и сплавов. Даны рекомендации по применению формовочных песков, связующих и противопригарных покрытий.

Ключевые слова: дефекты отливок, кварцевые пески, термостойкость, свойства смесей и покрытий.

Выбор технологических мероприятий, направленных на повышение чистоты поверхности отливок, зависит от конкретных условий производства. Особую сложность представляет получение отливок с чистой поверхностью в условиях массового производства. В связи с большой номенклатурой изготавливаемых отливок, значительно отличающихся по конструкции, склонности к образованию дефектов, практически невозможно разработать такое технологическое мероприятие, которое позволило бы получать отливки различных категорий без поверхностных дефектов [1-25].

По исследованиям П.П. Берга особенно большое влияние на склонность отливок к образованию дефектов оказывает материал формы.

Одним из путей повышения качества отливок является применение химически инертных, с высокой теплоаккумулирующей способностью формовочных материалов, таких как циркон, оливин, шамот, хромомagnesит, магнезит и другие. Однако указанные материалы получают путем сложного и дорогого передела, поэтому применение их может быть оправдано только в тех исключительных случаях, когда другими способами не удается получать отливки достаточно высокого качества [1-10].

Второй, наиболее распространенный путь – применение кварцевых формовочных материалов. В этом случае свойства кварцевых формовочных смесей улучшают введением специальных добавок. В практике литейного производства получили распространение следующие добавки: окислители, основные оксиды различных металлов, углеродистые материалы и другие.

Третий путь – применение связующих органического и неорганического происхождения.

Отсутствие сравнительных данных по чистоте поверхности чугуновых и стальных отливок, изготавливаемых с применением добавок органического и неорганического происхождения, и противоречивые мнения по механизму влияния углеродистых добавок послужили основанием для проведения дальнейших исследований.

Одним из основных недостатков отливок, изго-

товляемых в песчаных формах, как самых распространенных в литейном производстве, является пригар. Проблема получения отливок с чистой поверхностью постоянно находится во внимании российских и зарубежных исследователей. Существенный вклад в теорию и практику вопроса внесли российские ученые П.П. Берг, П.Н. Бидуля, Ю.П. Васин, К.И. Ващенко, К.Н. Вдовин, С.П. Дорошенко, И.В. Валисовский, П.А. Борсук, А.И. Евстигнеев, С.С. Жуковский, П.Ф. Василевский, Б.Б. Гуляев, А.А. Горшков, И.Е. Илларионов, Б.А. Кулаков, В.М. Колокольцев, И.О. Леушин, И.Б. Куманин, А.М. Михайлов, В.И. Никитин, П.В. Черногоров, В.М. Александров, Д.Н. Холмогоров, А.М. Рыжиков и многие другие.

Пригар является результатом сложных физико-химических процессов, протекающих на границе соприкосновения металла с формой. По существующим научным представлениям пригар имеет две фазы: механическую и химическую [6-7]. Механическая фаза пригара связана с проникновением жидкого металла в поры формы, в результате которого зёрна песка образуют прочное сцепление с поверхностью отливки. Для уменьшения проникновения металла в поры формы необходимо применять мелкозернистые формовочные материалы, повышать уплотнение формы, снижать ферростатическое давление, температуру заливки металла и т.д.

Химическая фаза пригара связана с реакциями на границе металла с формой и образованием сложных силикатных соединений, вызывающих сцепление отливки с формой. Направленность и характер реакций будет в значительной степени определяться составом смесей и свойствами добавок [1-7].

Научные представления о наличии механической и химической фаз пригара позволяют классифицировать многочисленные факторы по характеру их действия на две основные группы:

- 1) определяющие проникновение жидкого металла в поры формы;
- 2) оказывающие влияние на химические процессы между металлом и формой.

Реакции, протекающие на границе раздела металл-форма, вызывают химическую фазу пригара, образование которой объясняется двумя теориями: кристаллохимической и физико-химической.

Согласно кристаллохимической теории увеличение стекловидной фазы в затвердевшем силикате приводит к уменьшению пригара. Эта теория выдвинута в связи с концепцией, объясняющей возникновение сил связи пригарной корки с отливкой и ориентировкой фаз образования пригара.

Физико-химическая теория объясняет пригар возникновением сил связи между ионами на границе соприкосновения фаз. Действие различных добавок в формовочные и стержневые смеси объясняется изменением сил связи между ионами. Указанные теории образования химической фазы пригара на отливках, дополняя друг друга, рассматривают влияние сложных физико-химических процессов на формирование сил связи пригарного вещества с отливкой.

Борьба с пригаром может вестись в двух принципиально различных направлениях: ослабление или усиление окислительных процессов на границе отливки с формой.

Первое направление реализуется на практике двумя путями:

1) введение в кварцевую песчаную смесь углеродистых материалов, увеличивающих содержание восстановительных газов в форме и способствующих образованию пироуглерода с высоким содержанием летучих веществ.

Этот путь широко используется при изготовлении чугунных отливок;

2) применение химически инертных, тугоплавких, высокотеплопроводимых материалов при изготовлении стальных и чугунных отливок.

Второе направление – усиление окислительных процессов – основано на образовании корочки пригара, легко отделяющейся от поверхности отливки (что характерно при применении металлофосфатных холоднотвердеющих смесей (ХТС), отверждаемых железомангний, - кальцийсодержащими отходами электросталеплави-льного производства).

В процессе заливки жидкий металл неизбежно окисляется, если заливка проводится в обычных условиях. Окисление происходит по свободной поверхности жидкого металла при поступлении ее в полость формы.

Обычно в первый момент капиллярные силы противодействуют проникновению жидкого металла в поры литейной формы или стержня. Вместе с тем в процессе заливки продолжается дополнительное окисление жидкого металла за счет газовой фазы, образующейся в полости литейной формы.

Увеличение окислительной способности поверхности жидкого металла уменьшает величину критического давления и способствует проникновению жидкого металла в поры литейной формы. Одновременно при заливке происходит увеличение металлостатического давления.

Жидкий металл с повышенным содержанием кислорода в поверхностных слоях под действием капиллярного и металлостатического давлений с достаточ-

но высокой скоростью (> 10 мм/с) проникает в поры литейной формы и стержня. Глубина проникновения определяется способностью струек жидкого металла сохранять жидкотекучесть в зависимости от температуры прогрева жидкого металла, химического состава сплава, толщиной стенки отливки, размерами и конфигурацией поровых каналов и другими факторами.

Механизм действия углеродосодержащих добавок в смесях при высокой температуре представляется следующим образом:

1) обволакивание зерен углеродистым веществом с образованием полукокса, что создает механическое препятствие проникновению жидкого металла в поры литейной формы вследствие уменьшения смачиваемости и размера пор. Этим же объясняется получение чистой поверхности отливок с применением стержней и форм, изготовленных на основе связующих органического происхождения, выгорание которых протекает в пределах $150 - 400$ °С;

2) образование в порах и полости формы над зеркалом жидкого металла газовой фазы с высоким содержанием летучих веществ. Протекание 1 и 2 стадий идет одновременно;

3) соприкосновение жидкого металла с зернами кварцевого песка, частично или полностью покрытыми углеродистым веществом;

4) превращение полукокса в кокс с дополнительным выделением углеводородсодержащих газов;

5) отложение твердых частиц пироуглерода на зернах песка, частично или полностью покрытых кварцевым песком;

6) окисление пироуглерода;

7) взаимодействие оксидов металла, формовочной и стержневой смеси с образованием силикатов различного состава.

В случае применения металлофосфатных (алюмохромфосфатного, алюмофосфатного, алюможелезохромфосфатного, магнийфосфатного, магнийалюмофосфатного, боралюмофосфатного) и других связующих, отверждаемых железосодержащими отходами сталеплавильного, ваграночного, прокатного и других производств в ХТС в литейной форме протекают физико-химические процессы, приводящие к образованию легкоотделимого пригара, механизм действия которых объясняется следующим образом.

Взаимодействие жидкого металла (чугуна, стали, цветных металлов и сплавов) с литейной формой и образование пригарного вещества (силикатов) протекает стадийно:

1) механическое проникновение жидкого металла в поры литейной формы в основном за счет капиллярного и металлостатического давления, высокой температуры жидкого металла;

2) окисление поверхности отливки и проникших прожилок металла;

3) силикатообразование $2FeO - SiO_2$ (фаялит);

4) образование на поверхности отливки нулевой зоны, преимущественно состоящей из оксидов железа

и переход $FeO - Fe_2O_3 - Fe_3O_4$ [1-7].

Образующие оксиды железа частично или полностью растворяются в силикате, частично накапливаются на границе отливки и пригарной корки. Благодаря повышенному содержанию оксидов железа силикат при затвердевании преимущественно образует кристаллическую фазу. В межзерновом пространстве по микротрещинам и поверхности пор вюстит превращается в магнетит. Указанное превращение происходит с увеличением объема и вызывает рост напряжений, дающих микротрещины в контактном слое. Этому способствует наличие в железистом силикате разнородных структур с преобладающим количеством кристаллических фаз. Благодаря развивающимся усадочным процессам возникающие микротрещины раскрываются, что приводит к легкому отделению пригарной корки от отливки.

В связи с вышеизложенным применяемые органические и неорганические связующие, а также добавки, обеспечивающие получение отливок без пригара, должны:

- 1) обладать достаточной окислительной способностью;
- 2) повышать основность и окислительный потенциал газовой фазы;
- 3) образовывать силикаты, обладающие высокой реакционной способностью к прожилкам металла;
- 4) обладать малой вязкостью, высоким поверхностным натяжением, адгезионной и когезионной прочностью, а также высокой термостойкостью и низкой газотворной способностью;
- 5) не ухудшать технологические свойства смеси, быть нетоксичными и недефицитными материалами, иметь длительный срок хранения.

Вышеперечисленным требованиям вполне удовлетворяют применяемые металлофосфатные связующие, разработанные на кафедре материаловедения и металлургических процессов Чувашского государственного университета.

В свете поставленных задач проводятся наши исследования в лаборатории теории и технологии литейных процессов по применению металлофосфатных связующих и отходов металлургического, литейного и других производств. Несомненно, выполненные исследования являются лишь первыми робкими шагами в области теории и технологии литейного производства. Предстоят большие задачи всестороннего и тщательного изучения влияния металлофосфатных связующих и смесей на качество отливок.

Разработка и внедрение жидконаливных металлофосфатных смесей, применение металлофосфатных связующих для изготовления стержней в нагреваемой и обычной оснастке, для пропитки форм и стержней, получения керамических форм и точного литья, противопопригарных и теплоизоляционных покрытий, футеровок ковшей и плавильных, термических печей и в других аспектах представляют для литейного производства большое теоретическое и практическое значение [5-10].

Список литературы

1. Илларионов И.Е., Шаршаков И.М. Демпфирующие материалы: монография / под ред. И.Е. Илларионова. Чебоксары: ЧПИ МГОУ, 2011. 283 с.
2. Основы промэкологии, теории процессов и аппаратов очистки технологических и аспирационных газов литейно-металлургических и смежных производств: монография. Ч.1. / Илларионов И.Е., Леушин И.О., Ульянов В.А., Гуцин В.Н., Новоселов В.В. Чебоксары; Нижний Новгород, 2003. 196 с.
3. Основы промэкологии, теории процессов и аппаратов очистки технологических и аспирационных газов литейно-металлургических и смежных производств: монография. Ч.II. / Илларионов И.Е., Леушин И.О., Ульянов В.А., Гуцин В.Н., Новоселов В.В. Чебоксары; Нижний Новгород, 2003. 216 с.
4. Илларионов И.Е. Разработка интенсивных технологий и оптимизация составов активированных песчано-глинистых и фосфатных смесей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.04 / Илларионов Илья Егорович. Чебоксары, 1989. 504 с.
5. Металлофосфатные связующие и смеси: монография / Илларионов И.Е. и др. Чебоксары: Изд-во ЧувГУ, 1995. 524 с.
6. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси: монография. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. Ч. I. 223 с.
7. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси: монография. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1995. Ч. II. 288 с.
8. Wasin Y.P., Illarionov I.E., Schwezow W. J. Ein Verat sum Bestimends Fließvermögeks der Formsande // Giessereitechnik. 1971. № 6. S. 206.
9. Wasin Y.P., Illarionov I.E., I.I. Tribo und piezoeletrische Effekte fur die Formstoffaufbe – reitung // Giessereitechnik. 1971. № 1. S. 29.
10. Wasin Y.P., Tshernogorow P.W, Bortnikow M.M., Illarionov I.E. Behandlung von Formstoffmaterialen mit Magnetfeldern // Giessereitechnik. 1971. № 3. S. 104.
11. Металлофосфатные связующие и смеси, особенности их отверждения / Илларионов И.Е., Стрельников И.А. и др. // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2012. № 4(76). С. 79-85.
12. Некоторые вопросы и особенности применения металлофосфатных смесей для получения отливок из черных и цветных металлов и сплавов / Илларионов И.Е., Стрельников И.А. и др. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 4(97). С. 262-265.
13. Стрельников И.А., Илларионов И.Е., Журавлев А.Ф. Особенности применения специальных смесей для легкоотделяемых прибылей // Заготовительное производство в машиностроении. 2011. № 9. С. 8-9.
14. Илларионов И.Е., Михайлов А.А. Формовочные смеси и связующие на основе гипса // Литейное производство. 2011. № 5. С. 14-16.
15. Илларионов И.Е., Журавлев А.Ф. О применении торфосодержащих теплоизоляционных смесей на металлофосфатных связующих // Литейное производство. 2011. № 6. С. 35-37.
16. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. № 2(87). С. 208.
17. Илларионов И.Е. Теоретические основы формирования физико-механических свойств песчано-глинистых смесей // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. № 1(86). С. 233.
18. Разработка и исследование торфосодержащих теплоизоляционных смесей на металлофосфатных связующих / Петрова Н.В., Илларионов И.Е., Журавлев А.Ф., Музынов В.В. // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2010. № 4. С. 153-158.
19. Разработка и исследование составов торфосодержащих металлофосфатных смесей для изготовления разделительных

- пластин теплоизолированных легкоотделяемых прибылей / Петрова Н.В., Журавлев А.Ф., Илларионов И.Е., Стрельников И.А. // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2010. № 4. С. 159-162.
20. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Особенности применения жидкостеклольных смесей // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2010. № 4. С. 62-70.
21. Илларионов И.Е., Стрельников И.А., Петрова Н.В., Журавлев А.Ф. Теплоизоляционная смесь для утепления прибылей отливок: Пат. 2356688 РФ.
22. Проблемы и один из путей улучшения выбиваемости жидкостеклольных смесей в литейном производстве / Илларионов И.Е., Стрельников И.А., Петрова Н.В., Журавлев А.Ф. // Инновации в образовательном процессе: сб. трудов Межрегиональной научно-практической конференции. 2008. С. 77-78.
23. Илларионов И.Е., Кузнецов В.П. Вакуумно-пленочная формовка, история развития и внедрения в отечественной промышленности // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 10. С. 3-9.
24. Илларионов И.Е., Столяров А.М. Исследование влияния электрических сил формовочных материалов на формирование физико-механических и технологических свойств смесей // Вестник Магнитогорского государственного университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 88-97.
25. Илларионов И.Е., Брялин М.Ф. Теоретические и технологические основы разработки стержневых смесей на основе новых неорганических фосфатных связующих и порошкообразных отвердителей // Вестник Магнитогорского государственного университета им. Г.И. Носова. 2006. № 4. С. 24-33.

Сведения об авторах

Илларионов Илья Егорович – д-р техн. наук, проф., академик РАЕН, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, зам. заведующего кафедрой материаловедения и металлургических процессов, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. Тел.: (8352) 45-39-39. E-mail: tmlp@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF CASTINGS

Ilarionov Ilya Egorovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Academician of the Academy of Natural Sciences, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, honored worker of science of the Chuvash Republic, Deputy. head of the department of materials science and metallurgical processes, the Chuvash State University. IN Ulyanova, Cheboksary, Russia. Phone: (8352) 45-39-39. E-mail: tmlp@rambler.ru

Abstract. *Some aspects of improving the quality of castings from ferrous and non-ferrous metals and alloys. Recommendations for the use of molding sands, binders and nonstick coatings.*

Keywords: *scabs, quartz sand, heat resistance properties of mixtures and coatings.*



УДК 669.742

Чернов В.П., Сафонова Е.А., Астапов Е.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАГИ НА КАЧЕСТВО ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Аннотация. *Послойное нанесение и сушка огнеупорных слоев при изготовлении оболочковых форм, используемых для литья по выплавляемым моделям, часто сопровождается растрескиванием и отслаиванием формируемых слоев. Повышению размерной точности форм способствует использование определенных способов удаления влаги, уменьшающих усадочные напряжения. Проводимые исследования актуальны для отработки режимов удаления влаги.*

Ключевые слова: *литье, оболочковая форма гидролиз, этилсиликаты, термоанализатор,, суспензия, зола, маршалит.*

Наиболее трудоемкая и длительная операция в технологии литья по выплавляемым моделям – сушка оболочек. Послойное нанесение и сушка огнеупорных слоев при изготовлении оболочковых форм (ОФ) в 1–15% сопровождается растрескиванием и отслаиванием формируемых слоев [6].

Известно, что возникновение внутренних напряжений в покрытии вызвано усадочными процессами. Напряжения, концентрируясь на структурных неоднородностях, приводят к зарождению и развитию трещин в ОФ [1].

Одним из важных резервов повышения размерной точности форм является отработка режимов удаления влаги. Повышению размерной точности форм

© Чернов В.П., Сафонова Е.А., Астапов Е.Н., 2016

способствует использование способов удаления влаги, уменьшающих усадочные напряжения [2].

Исследовали влияние связующего (ЭТС-40) и добавок, вводимых в суспензию, на содержание влаги и режим ее удаления.

В лаборатории МГТУ им. Г. И. Носова были проведены исследования гидролиза геля этилсиликата термическим методом и методом инфракрасной спектроскопии, с целью изучения удаления влаги и углерода из ЭТС-40. Гидролиз этилсиликата проводили по методике туймазинского завода автобетоновозов. Составляющие для гидролиза приведены в табл. 1.

Исследование полученного гидролизата ЭТС-40 проведено термическим методом на термоанализаторе STA 443 F3 фирмы «NETZSCH». Исследуемую пробу нагревали в среде воздуха до температуры 900⁰С со скоростью 10 град /мин.

Таблица 1
Соотношение составляющих для гидролиза

Материал	Масса, кг
ЭТС-40	0,200
Спирт этиловый	0,216
Ацетон	0,175
Кислота соляная	0,00188
Кислота серная	0,00146
Вода дистиллированная	0,033
Итого	0,43158

До проведения термоаналитических исследований пробу гидролизата ЭТС-40 выдерживали на воздухе в течение нескольких (5-7) суток. Затем осадок промывали дистиллированной водой до полного удаления кислот (соляной и серной) и высушивали в естественных условиях (рис. 1).

На кривой ДСК гидролизата ЭТС-40 в интервале температур 57-200⁰С наблюдается значительный эн-

дотермический эффект с максимумом при температуре 116,5⁰С, соответствующий выделению молекул воды из внутренних слоев геля и с поверхности кремнезема. Потери массы при этом составляют порядка 18%. В интервале температур 200–500⁰С на кривой ДСК наблюдается отсутствие каких-либо эффектов, но при этом отмечается на кривой ТГ дальнейшее изменение массы (потери массы), связанное с выделением остатков воды. Свыше 500⁰С наблюдаются незначительные экзотермические эффекты при температуре 553 и 620⁰С, соответствующие, вероятнее всего, термодеструкции этоксигрупп. При нагревании свыше 700⁰С потери массы отсутствуют.

По результатам термогравиметрического анализа (ТГ) построена кривая выделения влаги из геля этилсиликата, приведенная на рис. 2. Как видно из этого рисунка, выделение влаги из связующего происходит в интервале температур 40–700⁰С, при этом порядка 80% всей влаги удаляется до 200⁰С. Количественное содержание влаги определено на анализаторе углерода и влаги CW MULTIPHASE, оно составляет 23,5%. Это свидетельствует о том, что данные, полученные термогравиметрическим анализом и методом инфракрасной спектроскопии, сопоставимы.

Количество выделения влаги и углерода в зависимости от времени анализа определено на анализаторе углерода и влаги CW MULTIPHASE (Германия). Количественное содержание влаги определено при температуре 650⁰С. Содержание влаги в гидролизованном этилсиликате составляет 23,5%, а углерода – 0,46%. Происходит постепенное выгорание углерода и влаги. В результате выгорания органической составляющей в негидролизованном этилсиликате образуется CO₂ и H₂O. Содержание H₂O составляет 62,8% а CO₂ – 72,6 %. Выгорание углерода происходит в две стадии.

Таким образом, из проведенных нами исследований видно, что при гидролизе этилсиликата образует-

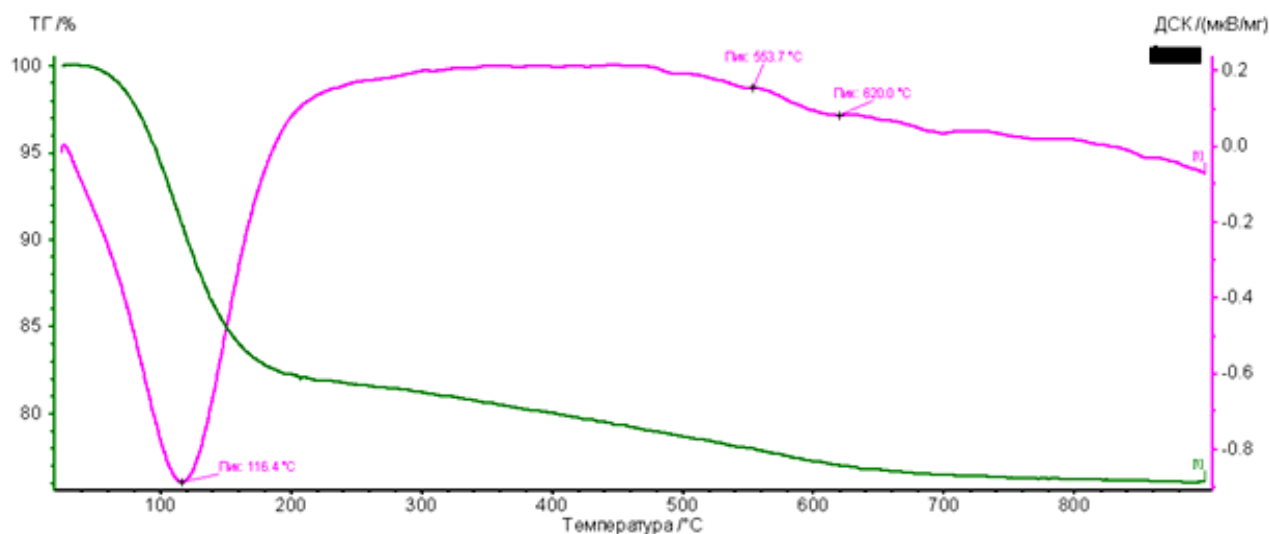


Рис. 1. Термограмма этилсиликатного геля

ся аморфный кремнезем, непретерпевающий фазовые превращения при нагреве и охлаждении. Поэтому при прокаливании огнеупорных оболочек гидролизат этилсиликата не оказывает никакого влияния на полиморфные превращения. При нагреве этилсиликата выделяется углерод и вода, при этом порядка 80% влаги удаляется до 200⁰С (рис. 2). Технологические свойства этилсиликата зависят от способа осуществления и условий протекания реакции гидролиза [4]. Особенно большое влияние оказывает температура среды. Увеличение продолжительности гидролиза и повышение температуры среды способствует укрупнению частиц золы [4,5].

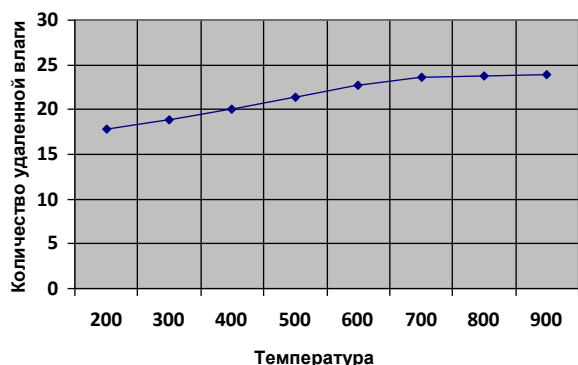


Рис. 2. Удаление влаги из геля этилсиликата при нагреве

Исходя из полученных данных, желательно провести корректировку режима сушки и прокаливанию с целью уменьшения трещинообразования при интенсивном удалении влаги. Поэтому для получения однородных растворов рекомендуется охлаждать реактор проточной водой, чтобы температура среды не превышала 30⁰С.

Исследовали влияние состава огнеупорной основы на содержание влаги в форме. Определили изменение массы (%) исследуемых суспензий на воздухе в зависимости от времени (зола и маршалит прокаленные) гравиметрическим методом (рис. 3). Масса исследуемых проб составляла 50 г, из них наполнитель – 30 г, 20 г – гидролизованный ЭТС. При гидролизе ЭТС из 20 г образуется 3 г связующего SiO₂ и 17 г испаряется. Содержание воды в пробе за счет связующего 1,2–1,5 %. Как видно из представленного графика, влага из суспензий разных составов испаряется одинаково, из чего можно сделать вывод о том, что применение суспензий с добавкой золы ТЭЦ возможно, и на сушку керамических форм особого влияния не окажет.

Кривые выделения углерода и воды, выполненные на анализаторе углерода и воды CW Multiphase фирмы Eltra, представлены на рис. 4 и 5. Пробы золы ТЭЦ и маршалита не прокалены. Как видно из графика 3, воды в золе ТЭЦ содержится в гидроскопическом виде в количестве 0,7 %. Количественное содержание углерода составляет 8,5%. На графике 4 представлен маршалит, в котором содержание углерода составляет 0,2 %, это объясняется присутствием в нем карбонатов. А общее содержание воды 2,9%, из них 1,19% – это гидроскопическая влага, а 1,71% – кристаллизационная.

Таким образом, можно сказать о том, что операцию предварительного прокаливанию наполнителя необходимо проводить как в случае использования маршалита, с целью удаления влаги, так и в случае использования золы ТЭЦ с целью удаления углерода (табл. 2, 3).

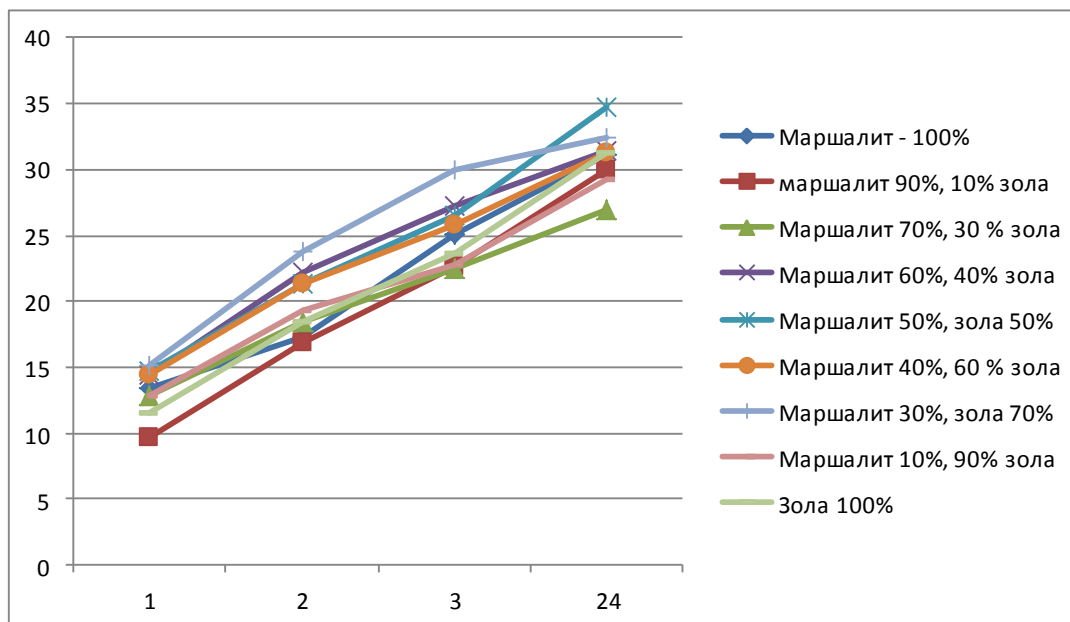


Рис. 3. Изменение массы исследуемых образцов на воздухе

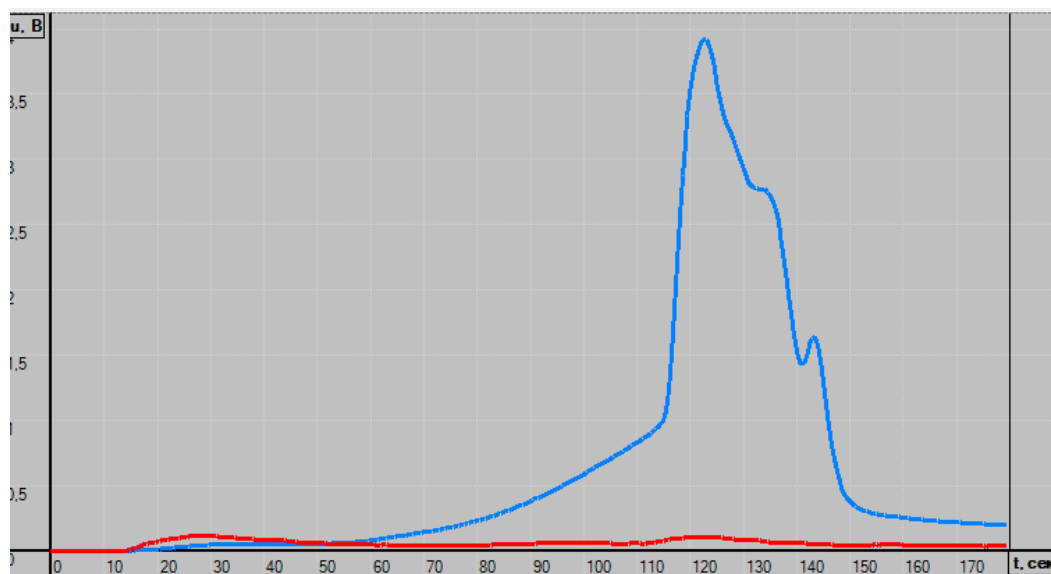


Рис. 4. Кривая выделения углерода и воды при нагреве золы ТЭЦ

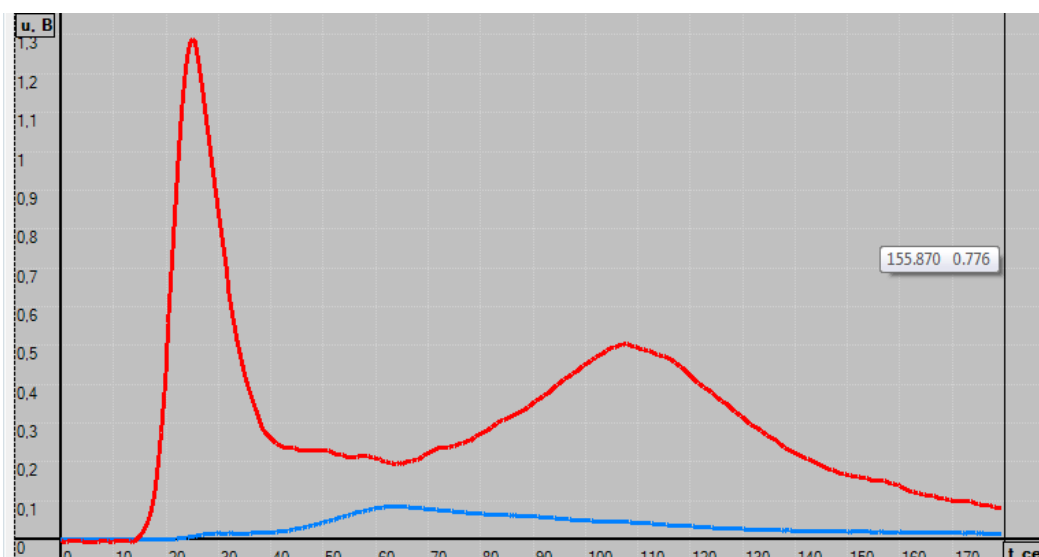


Рис. 5. Кривая выделения углерода и воды при нагреве маршалита

Таблица 2

Определение углерода и воды на анализаторе CW MULTIPHASE при температуре 650°C

Номер пробы	Наименование материала	Массовая доля компонента, %			
		C	CO ₂	H ₂ O	ИМПП (CO ₂ + H ₂ O)
1	Маршалит 100%	0.08	0.29	4.23	4.52
2	(90%)маршалит + (10%) золы	0.11	0.40	1.68	2.08
3	(80%)маршалит + (20%) зола	0.24	0.88	3.39	4.27
4	(70%)маршалит + (30%) золы	0.32	1.17	5.6	6.77
5	(60%)маршалит + (40%) зола	0.41	1.50	6.65	7.15
6	(50%)маршалит + (50%) зола	1.29	4.7	11.7	13.31
7	(40%)маршалит + (60%) зола	0.51	1.80	6.8	8.60
8	(30%)маршалит + (70%) зола	1.54	5.65	11.1	16.75
9	(20%)маршалит + (80%) зола	1.0	3.6	12.8	16.20
10	(10%)маршалит + (90%) зола	1.12	4.1	10.3	14.4
11	Зола (100 %)	1.02	3.6	12.6	15.20

Анализ выполнен после хранения проб на воздухе 15 суток, пробы сухие.

Определение углерода и воды на анализаторе CW MULTIPHASE при температуре 650°C
(первый эксперимент, где навески разные)

Номер пробы	Наименование материала	Массовая доля компонента, %			
		C	CO ₂	H ₂ O	ИМПП (CO ₂ + H ₂ O)
1	Маршалит 100%	2.41	8.85	25.67	34.52
2	(90%)маршалит + (10%) золы	0.61	3.10	7.56	
3	(80%)маршалит + (20%) зола	2.15	7.90	19.17	27.07
4	(70%)маршалит + (30%) золы	1.60	5.87	16.26	22.13
5	(60%)маршалит + (40%) зола	1.77	6.50	17.0	23.50
6	(50%)маршалит + (50%) зола	-	-	-	-
7	(40%)маршалит + (60%) зола	1.46	5.36	15.72	21.08
8	(30%)маршалит + (70%) зола	1.58	5.80	17.39	23.19
9	(20%)маршалит + (80%) зола	1.35	4.95	13.30	18.25
10	(10%)маршалит + (90%) зола	1.90	6.97	20.46	27.43
11	Зола (100 %)	2.35	8.62	25.3	33.92

Анализ выполнен после хранения проб в течение 2-3 суток. Пробы влажные.

Исходя из всего вышесказанного, можно отметить, что введение в суспензию предварительно прокаленной золы ТЭЦ не повлияет на содержание влаги в форме, что, в свою очередь, удешевит процесс изготовления ОФ.

Список литературы

1. Сапченко И.Г., Жилин С.Г. Деформационные процессы в формируемых слоях оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям // Литейщик России. 2011. №4. С. 34-38.
2. Озеров В.А., Гаранин В.Ф. Литье повышенной точности по разовым моделям: учеб. пособие для СПТУ. М.: Высш. шк, 1988. 87 с.
3. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман и др.; под общ. ред. Я.И. Шкленника,

4. В.А. Озерова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 408 с.
4. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Я.И. Шкленника и В.И. Озерова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 436 с.
5. Эльцуфин С.А. Литье повышенной точности / под. общ. ред. Липницкого А.М. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1981. 80 с.
6. Чернов В.П., Селиванова Е.А. Исследование свойств огнеупорных суспензий, используемых для керамических форм при литье по выплавляемым моделям // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. 2010. №3. с 21-25.
7. V. P. Chernov, E. N. Astapov, and E. A. Safonova Investigation into Thermalphysic Properties and Thermal Stability of Shell Molds Based on Quartz Sand and Ash of Thermoelectropower Stations for a Foundry Using Dispensable Patterns. ISSN 1067-8212, Russian Journal of Not-Ferrous Metals, 2011, vol. 52, pp. 437-441.

Сведения об авторах

Чернов Виктор Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: tchernov@mail.ru

Сафонова Екатерина Алексеевна – аспирант кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: selivanova_87@mail.ru

Астапов Евгений Николаевич – ст. преп. кафедры физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: enastapov@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STUDY OF THE INFLUENCE OF MOISTURE ON QUALITY OF SHELL MOULDS IN LOST-WAX CASTING

Chernov Viktor Petrovich – D.Sc. (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tchernov@mail.ru

Safonova Ekaterina Alekseevna – Postgraduate Student Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: selivanova_87@mail.ru

Astapov Evgeny Nikolaevich – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: enastapov@mail.ru.

Abstract. Layering and drying the layers in making of refractory shell moulds used for shell mould casting, often accompanied by the cracking and exfoliation the formed layers. Increasing the dimensional accuracy of the casting shapes associated with the use of certain methods for the removal of moisture, reduce shrinkage stresses. Current studies are relevant for testing of moisture removal mode.

Keywords: Casting, shell mould, hydrolysis, ethyl silicates, thermoanalyzer, suspension, ashes, silica flour.



УДК 621.742

Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Дерябин Д.А., Хренов И.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Рассмотрены свойства форм и стержней, получаемых по холоднотвердеющим смесям (ХТС) по AlrHaset (альфа-сет) процессу. Установлены факторы, влияющие на прочность и качество форм. Показана необходимость регенерации использованных смесей и влияние ее на качество отливок. Даны рекомендации двум литейным предприятиям по применению формовочных материалов для изготовления форм и стержней.

Ключевые слова: песок, смола, отвердитель. стержневая смесь, формовочная смесь, регенерация, холоднотвердеющая смесь.

В настоящее время наиболее перспективной является технология получения форм и стержней из холоднотвердеющих смесей (ХТС) по AlrHaset (Альфа-сет) процессу (отверждение жидкими эфирами и лактонами песчано-смоляной (полифенолятной) смеси). Преимущества системы Альфа-сет в наибольшей степени проявляются в стальном литье [1].

Качество форм и стержней, а затем и готовых отливок зависит от многих факторов: качества песков, связующих материалов, технологичности оборудования, дополнительно используемых разделительных и противопригарных веществ, влажности и температуры в производственном помещении. В связи с этим изучение материалов, используемых для изготовления формовочных и стержневых смесей, а также понимание теоретических основ формирования их свойств являются гарантией получения высококачественных отливок.

Кварцевый песок является основой для получения формовочных (до 95% всей массы смеси) и стержневых (95–97%) смесей. Снижение затрат на покупку песков можно добиться, осуществляя их регенерацию. Основное назначение ее состоит в восстановлении зерновой структуры и свойств наполнителей отработанных смесей. Наибольшее распространение при Альфа-сет процессе получил механический способ регенерации, при котором происходит отделение пленок связующего от кварцевых песчинок за счет механического перетирания смеси. Это обеспечивает возможность повторного использования песка в зависимости от вида связующего (Альфа-сет процесс) от 60-70% [2], в некоторых случаях до 90% [1].

Но при механической регенерации не всегда возможно удалить полностью из песка остатки плёнок связующего, а также происходит истирание песчинок и теряются его первоначальные свойства.

Целью исследования является изучение свойств огнеупорного наполнителя холоднотвердеющих смесей двух заводов на связующем Альфабонд при производстве стальных отливок.

В работе изучали ХТС с применением песка регенерированного (завод №1); отработанного (возврат) и сырого (завод №2). В качестве связующего в исследуемых смесях применяется резольная фенолформальдегидная щелочная водорастворимая смола Альфабонд 8531 и отвердитель марки Т-00 (производства ООО «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус»). ХТС, изготовленные с применением этих материалов, являются нетехнологичными. На обоих заводах наблюдали перерасход смолы и отвердителя.

Исследуемые материалы (расходы Альфабонд 8531 1,6% от веса песка; отвердитель марки Т-00 26,0% от веса смолы) на обоих заводах одинаковы и их используют для производства стальных отливок.

На литейном заводе № 1 в следующих соотношениях: облицовочная и стержневая смесь: песок кварцевый $1\text{K}1\text{O}_1\text{O}_3$ (100 %), смола; наполнительная смесь: песок кварцевый $1\text{K}1\text{O}_1\text{O}_3$ (20%), регенерат (80%).

На заводе № 2 регенерацию отработанной смеси не производят, используют в качестве огнеупорного наполнителя песок кварцевый $5\text{K}_4\text{O}_4\text{O}_3$ (60%) и возврат (40%).

Чтобы выбрать подходящие пески, связующие материалы, а также определить подходящие условия изготовления ХТС, необходимо провести технологические лабораторные испытания [3].

Контроль связующих материалов ограничивают небольшим набором показателей для смол и отвердителей (катализаторов). Обычно определяют внешний вид, вязкость и плотность смол. Исследуемые материалы – смола Альфабонд 8531 и отвердитель Т-00 соответствуют этим нормам.

Высокие требования предъявляют к формовочным пескам. Причем выше, чем требования к традиционно применяемыми в России жидкостекольными и песчано-глинистыми смесями, для которых они достаточно хорошо изучены, описаны и приведены в литературе [4].

Требования, предъявляемые Альфа-сет процессом к регенерированному песку, заключаются в определении трёх основных показателей: зернового состава, изменения массы при прокаливании и предела прочности при растяжении.

Основной характеристикой формовочного песка является его зерновой состав. Выяснили, что при работе с песками со средним размером зерна 0,2–0,3 мм и при избытке мелких фракций – «мелочи» (условно принято 0,125 мм и менее) прочность ХТС падает вплоть до нулевых значений при типичных и даже завышенных концентрациях связующего, что приводит к снижению газопроницаемости и другим эффектам, связанных с тенденцией к развитию удельной поверхности песка, повышенной пористости и извилистости капилляров в теле формы (стержня). А высокое содержание крупных фракций приводит к ухудшению чистоты поверхности отливки. Установлено, что если средний размер зерна 0,20–0,25 мм, то максимальное содержание «мелочи», не приводящее к весьма заметной деградации свойств смеси, ограничивают в районе 6%.

Влажность песка, пригодного для Альфа-сет формовки, должна составлять менее 0,3%, фирма ООО «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус» для смолы Альфабонд рекомендует не превышать 0,5%.

Формовочные пески, применяемые в смоляных процессах, должны по возможности содержать мини-

мальное количество глинистой составляющей для исключения тенденции к снижению механических свойств формовочной смеси и увеличению расхода связующих. Согласно многочисленным рекомендациям при работе с ХТС содержание глинистой составляющей не должно превышать 0,5 % [2]. В Европе и США литейные производства стремятся работать на песке с содержанием глинистой составляющей менее 0,2% [3].

Другим не менее важным показателем качества восстановленного песка является изменение массы при прокаливании (ИМПП). Оно позволяет оценить загрязнение песка легкоплавкими неорганическими и органическими веществами. Приемлемые значения изменения массы при прокаливании для свежего песка обычно составляют до 0,3 %. Для механически регенерированного песка (фуран, фенольная смола эфирного отверждения) 2–3% – этот, и даже более высокий, уровень ИМПП вполне приемлем при заливке цветных сплавов и чугуна. Для сталей желательно поддерживать ИМПП не более 2% [1], во избежание науглероживания поверхностного слоя отливок.

Требования, рекомендуемые фирмой ООО «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус» к регенерированному песку, представлены в табл. 1.

Результаты исследования показали (табл. 2), что для регенерата изменение ИМПП при прокаливании приближается к критическим значениям, а в отработанном – превышают критические значения более чем в 1,5 раза. Содержание мелких пылевидных фракций во всех исследуемых песках, кроме сырого (завод № 2), несколько выше критических значений, что приводит к ухудшению прочностных характеристик ХТС.

Кроме того, обнаружен калий, являющийся вредной примесью в ХТС, поскольку его соединения взаимодействуют с содержащимися на поверхности песка минералами, образуя вещества, плавящиеся при относительно невысоких температурах, что снижает огнеупорность и горячую прочность смеси.

Таблица 1

Требования к физико-химическим показателям регенерата на связующем Альфабонд

Наименование показателя	Пределы нормы	Критические значения выше нормы	Дефекты литья, возникающие при превышении указанными параметрами допустимых норм
ИМПП, %	1,0-2,0 (для стали) 2,0-4,0 (для чугуна)	4,0	Газовые дефекты, пригар
Содержание оксида калия, %	≤ 0,18	≥ 0,18	Засоры, пригар
pH водной вытяжки	8-10	≥ 10	
Содержание мелких пылевидных фракций, %	0,5-1,0	≥ 1,0	Повышенная осыпаемость стержней и форм, засор

Физико-химические показатели огнеупорного наполнителя

Наименование показателя	Песок			
	сырой		регенерат	возврат
	Завод			
	№1	№2	№1	№2
Влажность 105°C, %	0,15	0,06	0,42	0,73
Изменение массы при прокаливании (ИМПП), %	0,29	0,33	3,2	5,6
Содержание оксида калия, %	0,05	0,07	0,17	0,13
pH водной вытяжки	6,8	7,2	9,1	10,2
Содержание мелких пылевидных фракций, %	1,4	0,7	1,5	1,3

Калий накапливается в механически регенерированном песке в условиях его использования с фенольной смолой эфирного отверждения [5], что подтверждается результатами анализа регенерата и возврата. В этих песках одновременно с калием накапливается натрий (табл. 3), и в отработанном песке его содержание значительно выше, чем в других исследуемых песках.

вину содержание в нём калия и практически полностью удаляет натрий (см. табл. 3).

При промывке песка, как показали дальнейшие исследования, в воду частично переходят мелкие пылевидные фракции нерастворимых плёнок связующего и все органические соли. Этот вывод сделан на основании результатов термического анализа осадка (часть про-

Таблица 3

Химический состав песка

Массовая доля, %	Песок					
	1K1O ₂ O _{2,5}		регенерат	возврат	мытый	
	№1	№2	№1	№2	№1	№2
SiO ₂	98,9	97,7	95,3	89,9	97,9	92,4
Fe ₂ O ₃	0,069	0,30	0,13	0,39	0,13	0,37
Al ₂ O ₃	0,59	1,28	0,47	0,75	0,46	0,65
K ₂ O	0,055	0,11	0,17	0,14	0,10	0,08
Na ₂ O	0,037	0,04	0,60	2,34	0,02	0,03
CaO	0,26	0,036	0,02	0,09	0,05	0,07
MgO	0,02	0,42	0,05	0,09	0,02	0,06

Фенольные смолы, в том числе и смола Альфа-бонд, представляют собой фенолформальдегидный олигомер, переведенный вследствие избытка щелочи (гидроксида калия или гидроксида натрия) в форму полифенолята. Для этой смолы отвердителем является ацетат глицерина. При взаимодействии смолы с отвердителем под действием щелочи, содержащейся в смоле, происходит гидролиз сложного эфира. При гидролизе ацетата глицерина образуется уксусная кислота и глицерин. Образующаяся в результате гидролиза кислота вызывает поликонденсацию (отверждение) фенольного резолы с образованием сшитого нерастворимого полимера. Побочным продуктом данного процесса является сложозфирная соль щелочного металла. Исходя из этого, калий присутствует в регенерате в составе нерастворимого полимера и соединений, хорошо растворимых в воде (гидроксида и органических солей).

Путем термического анализа определили, при каких температурах выгорают растворимые и нерастворимые органические соединения (200–800°C). Водорастворимые соединения калия и натрия можно удалить в результате промывания формовочной смеси водой. После промывки водой оказалось, что остаются только нерастворимые пленки органического связующего. Промывка песка снижает примерно наполо-

вину содержание в нём калия и практически полностью удаляет натрий (см. табл. 3).

Смеси характеризуются многообразием свойств, определяющих качество отливки. Однако решающим на стадии после изготовления формы и её выбивки являются механические свойства, определяющие их способность сопротивляться деформациям и разрушению. К основной группе испытаний формовочных смесей на органических связующих следует отнести установление прочностных показателей, например предел прочности на растяжение. Для контроля этих свойств изготавливают стандартные образцы, которые через определённые промежутки времени подвергаются разрушению на разрывной машине.

При приготовлении смеси в качестве наполнителя использован кварцевый песок марки 1K1O1O3. Учитывая то, что он содержит мелкую пылевидную фракцию, проведен его рассев в соответствии с ГОСТ 29234.0 – 91. Смесь приготовлена традиционным для ХТС способом. На 100 м. ч. кварцевого песка добавляли 0,4 м. ч. водного раствора катализатора, смесь тщательно перемешивали в течение 2 мин, потом к этой смеси добавляли 2,0 м.ч. связующего и снова тщательно перемешивали 45–50 с. Прочность смесей испытывали на растяжение после 1 ч твердения.

Известно, что на живучесть, время твердения и

начальную прочность смеси существенное влияние оказывает температура окружающего воздуха и исходных ингредиентов. Оптимальной температурой для ХТС считается 15–25°C. Однако при температурах +10 - 15 °С и ниже живучесть смесей (Альфа-сет процесс) резко возрастает, скорость твердения снижается и прочности падают [7]. При работе в теплых условиях необходимо учитывать, что температура смеси должна быть ниже 35°C и применять более медленные отвердители.

Данные о влиянии температуры на свойства исследуемой смеси представлены на рис. 1

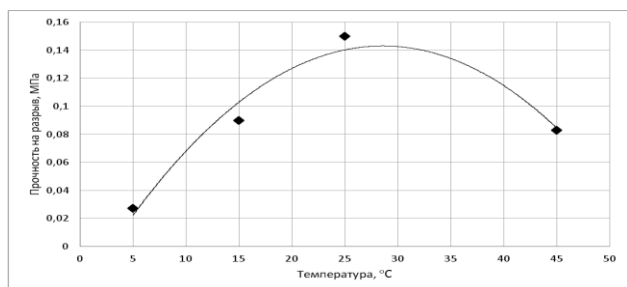


Рис. 1. Зависимость прочности формовочной смеси от окружающей температуры

Из данных рис. 1 видно, что наилучшими прочностными показателями обладают ХТС при температуре 25°C. При повышении температуры теряется живучесть смеси, а при меньшей температуре замедляется отверждение. Такая температура записана в гостовских требованиях по приготовлению ХТС.

На заводе №2 регенерацию отработанной смеси не производят и в произвольном соотношении добавляют новый песок. Для нахождения оптимального соотношения провели ряд испытаний с разным соотношением нового и отработанного песка (рис. 2).

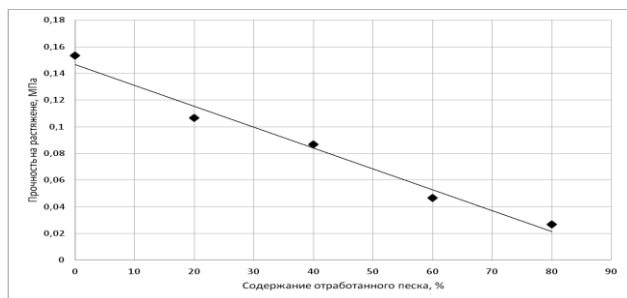


Рис. 2. Зависимость прочности ХТС от содержания отработанной смеси

Сведения об авторах

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

Феоктистов Николай Александрович – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: fina87@mail.ru.

Дерябин Даниил Андреевич – студент кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Испытания показали, что наличие даже небольшого количества отработанного песка вызывает существенное снижение прочности на разрыв. Низкие адгезионные свойства отработанного песка (завод 2) ограничивают его повторное использование.

Таким образом, периодическую проверку прочности смеси на разрыв необходимо проводить для контроля за характеристиками повторного связывания восстановленного песка, а также для регулировки добавления свежего песка в систему.

Заключение

Проведя комплексное исследование формовочных материалов для ХТС, установили:

- смола и отвердитель, поставляемые на оба завода, соответствуют как требованиям ГОСТ, так и техническим условиям, имеющимся на заводах;

- не соблюдается температурный режим приготовления смесей в цехах обоих заводов, что приводит к снижению прочностных свойств формовочной и стержневой смесей и вызывает перерасход смолы и отвердителя в процессе получения необходимой прочности форм;

- отсутствие регенерации (завод № 2) и неконтролируемое добавление регенерата в смесь не способствуют повышению прочности смеси и качества отливок (на заводе наблюдают пригар стальных отливок);

- механическая регенерация не полностью способствует подготовки песка к повторному использованию из-за наличие в регенерате калия и натрия, которые способствуют появлению пригара на отливках.

Список литературы

1. Гросс И., Иольдерт Ф. Механизированные формовочные установки с холоднотвердеющими смесями // Литейное производство и технология литейного дела. 2010. С. 14–17.
2. Евтушенко Н.С. Исследование свойств регенируемых песков. Харьков: Вісник НТУ «ХІІІ», 2013. № 43 (1016). С. 99-103.
3. Бройтман О.А., Бусби Э.Д., Стэнклиф М.Р. Современные методы испытаний формовочных материалов и песчано-смоляных смесей // Литейщик России. 2009. №8. С. 20–34.
4. Рыжков И.В., Толстой В.С. Физико-химические основы формирования свойств смесей с жидким стеклом. Харьков: Вища школа, 1975. 140 с
5. Пат. 3478191, МКИ В 22 С 5/08 Способ гидрогенерации песков из отработанных смесей литейных цехов / А.А. Шпектор, В.А. Сафронов, В.Н. Скорняков и др. 15.06.84.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF REFRACTORY FILLER COLD-MIXES

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

Feoktistov Nikolai Aleksandrovich – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fina87@mail.ru.

Deryabin Daniil Andreevich – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Hrenov Ivan Borisovich – student Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

***Abstract.** The properties of molds and cores obtained by cold-hardening mixtures (XTC) AlpHaset (alpha set) process. The factors affecting the strength and quality of the forms. While Zana the need for regeneration of the used mixtures and its influence on the quality of the castings. Given the recommendation of two foundries for the application of mold material for making molds and cores.*

***Keywords:** sand, resin, hardener. a core mixture, molding the mixture, regeneration, cold notogawa mixture.*



УДК 669

Давыдов Н.Г., Лямзин В.А.

СТАЛЬ 75Г13Л ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОГО И ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Аннотация.** Основным видом брака отливок из стали 110Г13Л являются горячие и холодные трещины, на долю которых приходится от 40 до 70% общего количества брака. Предложено для деталей горного оборудования отливать детали из стали 75Г13Л вместо 110Г13Л. Установлено, что стойкость деталей, отлитых из стали 75Г13Л, выше по сравнению с аналогичными деталями, изготовленными из обычной высокомарганцевой стали 110Г13Л.*

***Ключевые слова:** отливка, сталь, брак отливок.*

Высокомарганцевая сталь 75Г13Л, разработанная в Норильском индустриальном институте совместно с Норильским горно-металлургическим комбинатом (НГМК), имеет следующий химический состав, %: 0,70–0,80 С; 12,5–14,5 Мп; ≤ 0,5 Si; ≤ 0,085 Р, при соотношении Мп:С ≥ 15 и Мп:(С+Si) ≥ 9,5. Соблюдение соотношений Мп:С ≥ 15 и Мп:(С+Si) ≥ 9,5 является обязательным. При несоблюдении этих соотношений в структуре стали появляются (образуются) карбиды, и в этом случае детали из такой стали надо будет подвергать термической обработке (закалке) для растворения образовавшихся карбидов. В литом состоянии, т.е. без термической обработки, эта сталь имеет чисто аустенитную структуру и, следовательно, отливки из неё не требуют закалки. Прочность этой стали составляет 500–580 МПа, а твёрдость 180–200 НВ. Склонность стали 75Г13Л к поверхностному уп-

рочнению (наклёпу) в «сыром» состоянии практически такая же, как и у закаленной стали 110Г13Л. Обладая высокой ударной вязкостью как при положительной, так и при отрицательных температурах (1,8–2,8 МДж/м² при +20°С и 0,8–1,36 МДж/м² при -40°С) и чисто аустенитной структурой, эта сталь характеризуется практически полным отсутствием склонности к трещинообразованию. Условная температура хладноломкости этой стали (т.е. температура, при которой её ударная вязкость составляет примерно 50% от её величины при +20°С) находится в пределах от -35 до -45°С.

Как известно из практики литейного производства, основным видом брака отливок из стали 110Г13Л являются горячие и холодные трещины, на долю которых приходится от 40 до 70% от общего количества брака [1-4].

Механическим заводом НГМК было отлито из стали 75Г13Л более 700 т больших по массе и слож-

ных по конфигурации отливок для горнорудного и обогащительного оборудования, термическая обработка которых связана с целым рядом затруднений организационного и технологического характера будь они отлиты из обычной высокомарганцевой стали 110Г13Л (некоторые типы грохотных решёток, элементы рудоспусков, футеровочные брони дробилок и мельниц, днища ковшей карьерных экскаваторов др.). И ни в одном случае на этих деталях не было обнаружено горячих трещин. Эти же детали, отливаемые из стали 110Г13Л, нередко поражаются трещинами в процессе кристаллизации и охлаждения металла в литейной форме и при последующей их термической обработке (закалке). Опытные днища ковшей карьерных экскаваторов из стали 75Г13Л проработали на НГМК (на руднике «Медвежий ручей») без замены свыше 15 месяцев, при этом трещин, участков интенсивного износа, вырывов и других дефектов на этих днищах обнаружено не было. Эти днища могли бы проработать ещё столько же времени, но были сняты с эксплуатации в связи с капитальным ремонтом экскаваторов. Такие же днища из стали 110Г13Л, прошедшие термическую обработку (закалку), выходили из строя после 4–6 мес. их эксплуатации.

В цехах бывшего ПО «Уралмаш» из стали 75Г13Л было отлито 74 детали (днища, козырьки, петли, стенки, брони, футеровки, барабаны и др.). При испытании деталей было установлено, что их стойкость была заметно выше по сравнению с аналогичными деталями, изготовленными из обычной высокомарганцевой стали 110Г13Л.

Выплавку стали 75Г13Л осуществляли в дуговых печах с основной футеровкой двумя методами: методом переплава с разбавлением и методом с окислением примесей [5-7].

При выплавке стали методом переплава с разбавлением шихта состояла примерно на 50% из отходов и лома стали 110Г13Л и на 50% из отходов малоуглеродистой стали, содержащей не более 0,10–0,20% С. Расплавленная шихта такого состава обычно содержит примерно 0,50–0,65% С и 4,5–6,5% Мп. Корректировку концентрации марганца в полученном расплаве вели только малоуглеродистым ферромарганцем. После выдержки расплава под шлаком в печь вводили порциями в 3–4 приёма требуемое количество легирующего малоуглеродистого ферромарганца. После введения последней порции легирующего ферромарганца шлак интенсивно обрабатывали раскислительной смесью, состоящей из извести, плавикового шпата, молотого кокса и молотого 45%-ного ферросилиция или силикокальция; полученную жидкую сталь нагревали до оптимальной температуры её выпуска из печи в ковш (1500–1530°C).

При выплавке стали методом окисления примесей плавление шихты и окисление примесей осуществляют в соответствии с общей технологической инструкцией по выплавке стали в основных дуговых печах. Окислительный период заканчивают при содер-

жании в металле углерода не более 0,20–0,25% и фосфора не более 0,025%. После удаления (скачивания) из печи окислительного шлака в ванну присаживают (подают) малофосфористый и доменный ферромарганец в соответствующем соотношении в зависимости от содержания в расплавленном металле углерода (25–30 кг на 1 т жидкой стали), а также кусковой алюминий на штанге из расчёта 0,20–0,25 кг на 1 т жидкого металла. После наведения шлака из извести и плавикового шпата образовавшийся шлак раскисляют молотым (дроблёным) коксом и молотым 45%-ным ферросилицием. Затем металл тщательно перемешивают и отбирают пробу для определения в нём содержания углерода, марганца, серы и фосфора. Концентрация углерода при этом должна составлять 0,25–0,30%, а марганца – 1–1,25%. После прогрева расплавленного металла в ванну загружают (присаживают) в 3-4 приёма легирующую дозу ферромарганца. Сначала в печь подают (вводят) малофосфористый или доменный ферромарганец (~ 45 кг на 1 т жидкого металла), а затем малоуглеродистый ферромарганец в количестве 85–100 кг на 1 т. Металл выдерживают в печи не менее 40 мин, после чего берут пробу на содержание в нём углерода и марганца. После получения результатов анализа в случае низкого содержания в стали марганца в ванну добавляют расчётное количество малоуглеродистого или малофосфористого ферромарганца. В предвыпускном шлаке концентрация закиси железа (FeO) должна быть не более 1,5%, а закиси марганца (MnO) – не более 4,5%. Окончательное раскисление стали проводят в ковше кусковым алюминием (0,75 кг на 1 т жидкого металла) или же кусковым ферротитаном в таком же количестве.

Выплавленную тем или иным методом сталь выпускают из печи в ковш при температуре 1500–1530°C; разливку стали по литейным формам начинают при температуре 1445–1455°C, а заканчивают при 1425–1440°C.

Сталь 75Г13Л, выплавленная в литейном цехе НГМК методом переплава, по качеству во всех случаях практически не отличалась от стали, выплавленной методом с окислением примесей.

Нами проводились исследования по легированию этой стали (75Г13Л) карбидообразующими элементами (титаном, хромом, ванадием, бором и др.) с целью повышения её прочности и износостойкости (без существенного снижения её вязкости и трещиностойкости). При этом были получены обнадеживающие результаты, свидетельствующие о том, что такое легирование может привести в дальнейшем к значительному расширению номенклатуры получаемых отливок и деталей из этой стали для горнорудного и горно-обогащительного оборудования, повышению их надёжности и долговечности.

Сталь 75Г13Л заметно дороже обычной высокомарганцевой стали 110Г13Л из-за повышенного расхода более дорогих малоуглеродистого и малофосфо-

ристого ферромарганца, однако дополнительные затраты на них относительно быстро окупятся за счёт практически полного исключения брака литья по го-

рячим и холодным трещинам и исключения такой дорогостоящей операции, какой является термическая обработка (закалка) получаемых отливок.

Сведения об авторах

Давыдов Николай Григорьевич – канд. техн. наук, проф. кафедры механики и инженерной графики, Норильский индустриальный институт, Норильск, Россия. Тел. 8 (3919) 23-88-59

Лямзин Вячеслав Александрович – гл. инженер Механического завода Норильского горно-металлургического комбината, Норильск, Россия. Тел. 8 (3919) 22-28-99

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STEEL FOR DETAILS 75G13L MINING AND ORE DRESSING EQUIPMENT

Davydov Nikolay Grigorievich – Ph.D. (Eng.), Professor, Department of Mechanics and Engineering Graphics, Norilsk Industrial Institute, Norilsk, Russia. Phone: 8 (3919) 23-88-59

Lyamzin Vyacheslav Alexandrovich – Chief Engineer Mechanical plant Norilsk Mining and Metallurgical Combine, Norilsk, Russia. Phone: 8 (3919) 22-28-99

***Abstract.** The main type of steel castings marriage 110G13L are hot and cold cracks, which accounts for 40 to 70% of the total number of marriages. It is proposed to cast parts made of steel instead of 75G13L 110G13L parts for mining equipment. It is found that the resistance of parts molded from steel 75G13L higher than similar parts made from manganese steel 110G13L usual.*

***Keywords:** casting, steel castings marriage.*



ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.7.08

Кочкин Ю.П., Солнцев А.Ю.

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОЭДС ПРИ МАЛОЙ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Аннотация. ТермоЭДС может служить источником информации о свойствах сплавов на основе железа. Деформационные напряжения возникают в процессе эксплуатации и могут быть проанализированы с помощью термоэлектрических свойств.

Ключевые слова: термоЭДС, упругая деформация, железосодержащие сплавы.

Неоднократно в разных работах было показано [1, 2, 4, 5], что термоэлектродвижущая сила металлов и сплавов может быть использована для анализа происходящих в них физических процессов: упругой и пластической деформации, фазовых переходов, деформационного упрочнения, накопления дефектов и др. Поэтому представляется достаточно актуальным расширение информации в этой области, в особенности для сталей и сплавов на основе железа, т.к. именно они имеют самое широкое практическое применение.

В данной работе приведены результаты исследований изменений термоЭДС стальных проволок, происходящих на самых ранних этапах деформации растяжением. В качестве исследуемых образцов использовались:

1) Проволока из стали 10 диаметром 0,65 мм в хорошо отожженном состоянии. Цементит такой стали с содержанием 1,5% имеет глобулярную форму и практически не влияет на развитие и протекание деформационных процессов в объеме ферритных зерен; плотность дислокаций в феррите в начальном состоянии до начала деформации очень мала.

2) Проволока из стали 80 диаметром 0,70 мм после патентирования и волочения. Цементит этой стали при общем содержании ~12% имеет пластинчатую форму, пластины цементита преимущественно ориентированы вдоль оси проволоки, ферритная фаза имеет высокую концентрацию дислокаций и вакансий (особенно на границах цементита и феррита).

Принципиальная схема установки, которая использовалась в данной работе для экспериментальных измерений деформации и изменения термоЭДС проволоочных образцов, приведена на рис. 1.

Рабочая часть АВ исследуемого образца ДВАС закреплялась в зажимах А и В; зажим А неподвижен, зажим В подвергается растягивающей нагрузке с усилием F . Концы образца С и D подключались непосредственно в контактам потенциометра П (Р363) и имели (так же, как и зажим В) комнатную температуру. Усилие растяжения F измерялось тензодатчиком Т, по которому при обработке экспериментальных

данных рассчитывались механические напряжения образца $\sigma = F/S$, где S – площадь поперечного сечения образца. Удлинение образцов при растяжении Δl фиксировалось датчиком перемещения ДП с ценой деления 0.01 мм; относительная деформация образца рассчитывалась как $\varepsilon = \Delta l/l_0$, где l_0 – начальная длина рабочей части образца (в данных экспериментах 550-600 мм).

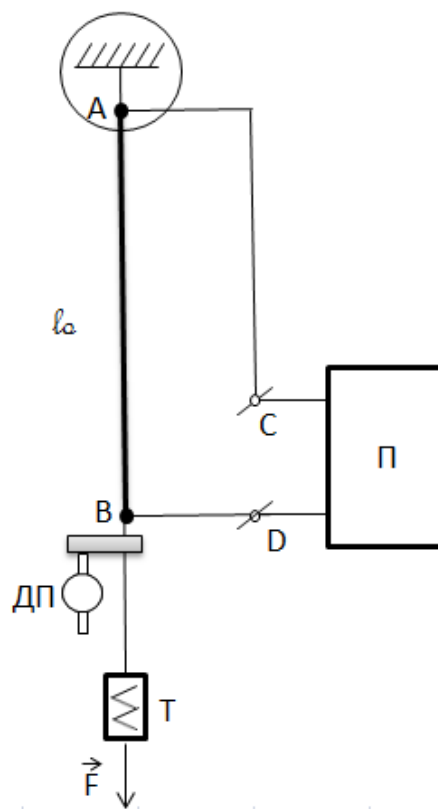


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Для создания разности температур по длине исследуемого образца верхний контакт А (см. рис.1) нагревался печью электросопротивления или охлаждался жидким азотом. Температуры контактов А, В, С, D контролировались хромель-алюмелевыми тер-

мопарами. При исследовании изменений термоЭДС в зависимости от величины упругой или пластической деформации разность температур ΔT между горячим А и холодным В контактами составляла ~ 30 К. Изменение возникающей в цепи ДВАС термоэлектродвижущей силы E производилось с точностью до 0,1 мкВ. Таким образом, возникающая при деформации термоЭДС E измерялась в паре «недеформированный образец – деформированный образец» одной марки стали, т.е. все изменения термоЭДС, возникающие при растяжении образцов, фиксировались относительно недеформированного состояния.

Экспериментальные измерения на описанной установке проводились в следующей последовательности. Исследуемый образец закреплялся в зажимах А и В, устанавливалась нагревающая контакт А печь. После достижения равновесного распределения температуры по длине образца АВ образец нагружается с усилием F , в этом состоянии измеряется его абсолютное удлинение Δl и интегральная термоЭДС E . Затем нагрузка F снимается и измеряется остаточная (пластическая) деформация $\Delta l_{пл}$ и термоЭДС в этом состоянии $E_{ост}$. По разности $\Delta l - \Delta l_{ост}$ определяется величина упругой деформации $\varepsilon_{упр}$ и термоЭДС $E_{упр} = E - E_{ост}$, обусловленная упругой деформацией (дифференциальная термоЭДС $S_{упр} = E_{упр}/\Delta T$). В процессе эксперимента нагрузка F постепенно увеличивалась до заметного перехода деформации образца в пластическую. Таким образом, в целом в эксперименте образец растягивается циклически с постоянно возрастающей силой деформации.

На рис. 2 приведены графики изменения дифференциальной термоЭДС $S_{упр}$ от величины упругой деформации $\varepsilon_{упр}$. Установлено, что эта зависимость имеет четко выраженный линейный характер. Кроме того, выявляются некоторые особенности этой зависимости.

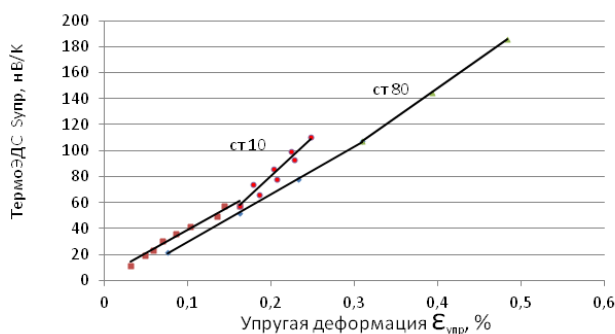


Рис. 2. Графики зависимости дифференциальной термоЭДС $S_{упр}$, обусловленной упругой деформацией, от величины деформации $\varepsilon_{упр}$

У патентованной стали 80 наклон зависимости $S_{упр}(\varepsilon_{упр})$ немного возрастает (на $\sim 22\%$) при переходе деформации от чисто упругой к пластической, т.е. на пределе упругости (на рис. 2 это соответствует упругой деформации $\varepsilon_{упр} \approx 0,3\%$). Причем такая же

картина наблюдается у всех других образцов стали 80, подвергнутых отжигу при разных температурах для получения некоторого «разбега» в механических свойствах. То есть упругая деформация на фоне развивающейся пластической деформации оказывает большее влияние на термоЭДС, чем начальная в упругой области. Перегиб линейной зависимости $S_{упр}(\varepsilon_{упр})$ наблюдается и для стали 10, причем еще более выражено: на $\sim 40\%$ при $\varepsilon_{упр} \approx 0,15\%$.

На следующем этапе исследований были проведены измерения зависимости термоЭДС, обусловленной упругой деформацией, от разности температур по длине деформируемого образца. При этом контакт А рабочей (нагружаемой) части образца (см. рис. 1) сначала охлаждался жидким азотом, затем нагревался естественным теплообменом до комнатной температуры и нагревательной печью до температуры $\sim 250^{\circ}\text{C}$. В результате в эксперименте удалось реализовать температурный интервал от ~ 90 до ~ 500 К. С учетом полученной информации по зависимости $S_{упр}(\varepsilon_{упр})$ в процессе нагрева исследуемые образцы деформировались с постоянной нагрузкой, соответствующей упругой деформации 0,11% для стали 10 и 0,25% для стали 80, т.е. в чисто упругой области деформации этих образцов (см. рис. 2). Полученные таким образом экспериментальные данные, пересчитанные на 1 % деформации, приведены на рис. 3.

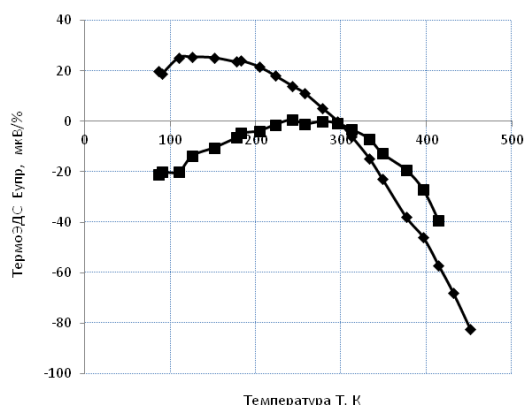


Рис. 3. Графики зависимости $E_{упр}$ от температуры T контакта А образца

Анализ полученных зависимостей $E_{упр}$ от T показывает, что они имеют квадратический характер. Поэтому дифференциальная термоЭДС, обусловленная упругой деформацией $S_{упр} = \frac{dE_{упр}}{dT}$, линейно зависит от температуры (рис. 4).

Как следует из рис. 4, наклоны графиков незначительно отличаются, но термоЭДС стали 80 заметно меньше, чем термоЭДС стали 10 во всем интервале температур, реализованном в данном эксперименте. Скорее всего, это объясняется разницей энергии Ферми электронов в стали 10 (с точки зрения деформации это практически технически чистое железо) и в патен-

тированной стали 80, в которой фазовые составляющие и структурное состояние существенно другие.

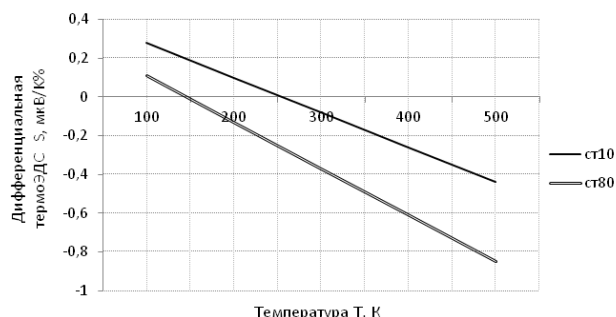


Рис. 4. Графики зависимости дифференциальной термоЭДС, обусловленной упругой деформацией, от температуры

Отметим, что полученные результаты, совпадают с известными данными [3, 6] о линейной зависимости дифференциальной термоЭДС, обусловленной рассеянием электронах на фононах и примесных атомах.

Сведения об авторах

Кочкин Юрий Павлович – канд. техн. наук, доц. кафедры физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Солнцев Александр Юрьевич – ст. преп. кафедры физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Список литературы

1. Лухвич А.А. Влияние дефектов на электрические свойства металлов. – Минск: Наука и техника, 1976. 104 с.
2. Сурин В.И., Евтюхин Н.А. Электрофизические методы неразрушающего контроля и исследования реакторных материалов: учеб. пособие. М.: Наука, 2008.
3. Термоэлектродвижущая сила металлов: [пер. с англ.] / Ф.Дж. Блатт, П.А. Шредер, К.Л. Фойлз, Д. Грей. М.: Metallurgiya, 1980. 248 с.
4. Солнцев А.Ю. Анализ возможности модернизации исследовательской установки по измерению термоЭДС // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2011. № 1. С. 218-220.
5. Кочкин Ю.П., Чернега А.Х., Шевченко С.Г. Изменение термоэлектродвижущей силы, обусловленной упругой деформацией стальной проволоки при растяжении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 3. С. 49-50.
6. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термпар. М.: Metallurgiya, 1983. 360 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

NATURE OF THE CHANGE OF THERMAL EMF AT A SMALL ELASTIC DEFORMATION OF CARBON STEEL

Kochkin Yuri Pavlovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Solntsev Aleksander Yurievich – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. Thermal emf. could provide information on the properties of iron-based alloys. Deformational stresses occur during operation and can be analyzed using the thermoelectric properties.

Keywords: thermal emf., elastic deformation, iron-based alloys.



МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.7.044: 669.14: 620.18

Чукин М.В., Полецков П.П., Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А.,
Ишимов А.С., Гущина М.С., Бережная Г.А.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ НИЗКООТПУЩЕННЫХ СТАЛЕЙ*

Аннотация. С использованием исследовательского комплекса Gleeble 3500 установлено влияние различных скоростей охлаждения на структурно-фазовые превращения, положение критических точек, количественные параметры структуры и твердость при непрерывном превращении переохлажденного аустенита в высокопрочных сталях. Построены термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита в исследуемых сталях. Сделаны рекомендации по выбору легирующего комплекса и скорости охлаждения заготовок, обеспечивающих сочетание высокой прочности и достаточной ударной вязкости после закалки и низкого отпуска.

Ключевые слова: высокопрочные стали, исследовательский комплекс Gleeble 3500, дилатометрия, термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита, структура, твердость, ударная вязкость.

Введение

Высокопрочными принято называть стали, которые можно термически обрабатывать на прочность выше 1500 Н/мм². В Европе такие стали производятся с начала 1960-х годов, постепенно завоевывая все большую популярность в мире. В России они начали применяться с начала 1990-х годов и со временем становятся все более востребованными. Эти стали, благодаря оптимальному химическому составу и отпуску, проведенному по особому режиму, помимо высокой прочности характеризуются высокой ударной вязкостью при пониженной температуре и хорошей свариваемостью [1, 2].

Применение высокопрочных конструкционных сталей позволяет достичь оптимизации затрат. В частности, использование более тонких, но более прочных стальных листов позволяет снизить общий вес конструкций, повысить грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования при сохранении неизменным веса всей машины, снизить вес автомобилей сократить расход топлива и т.д. [3 – 6].

В рамках выполнения комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого по инициативе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») с участием ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ»), разрабатывается инновационная [5–8]

технология производства импортозамещающего листового проката с уникальным комплексом механических свойств: прочность 700–2000 Н/мм², твердость свыше 280 НВ, удлинение не менее 8%.

В связи с этим актуальным является исследование влияния скорости охлаждения при термической обработке на структурные и фазовые превращения и свойства сталей с различной химической композицией с последующим построением термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита, что позволило бы корректировать режимы их термической обработки, обеспечивающих требуемый уровень свойств.

Большие возможности для изучения превращений переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении открывает использование исследовательских комплексов Gleeble 3800, 3500 [8, 9]. Этот комплекс, по сути, представляет собой высокоскоростной пластометр с возможностью программирования практически неограниченного числа стадий обработки металлов с постоянной или переменной по ходу обработки температурой или скоростью деформации. Нагрев образца осуществляется прямым пропусканием тока, что позволяет нагревать образцы со скоростью до 10000°С/с и/или поддерживать постоянную температуру. Простое в использовании программное обеспечение на базе операционной системы Windows и блок мощных процессоров обеспечивают очень удобный интерфейс для создания программ термомеханических испытаний и физического моделирования, а также сбора и анализа полученных данных.

В соответствии с вышесказанным в работе с использованием комплекса Gleeble 3500 исследовано влияние режимов охлаждения на структурно-фазовые превращения и свойства сталей.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 02.G25.31.0105).

© Чукин М.В., Полецков П.П., Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Ишимов А.С., Гущина М.С., Бережная Г.А., 2016

Материал и методика исследования

Химический состав исследуемых сталей представлен в табл. 1.

Эксперименты по выплавке и прокатке были осуществлены в лабораторном комплексе ООО «Термодеформ-МГТУ». Обжатие слитков выполняли с применением гидравлического прессы П 6334. Прокатку заготовок проводили на одноклетевом реверсивном стане горячей прокатки 500 «ДУО» до толщины 8 мм. Полученные раскаты охлаждали на воздухе. Термическая обработка заключалась в нагреве до аустенитного состояния с последующим низким отпуском.

увеличениях более 1000 крат исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV во вторичных электронах.

Микротвердость определяли на твердомере Buchler Mikromet методом вдавливания алмазной пирамидки с углом между противоположными гранями 136° в соответствии с ГОСТ 9450-60 при нагрузке 1 кг и длительности нагружения 10 с.

Полученные опытные образцы высокопрочного листового проката после термической обработки (закалка + низкий отпуск) испытывали на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497, на ударный изгиб образ-

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

Массовая доля элементов, %									
не более или в диапазоне								в диапазоне или более	прочие
C	Si	Mn	S	P	Cu	Mo	Cr	Ni	
0,32	0,1-0,3	0,7-1,0	0,009	0,011	0,1-0,2	0,3-0,4	0,4-0,6	0,8-1,2	V, Ti, Nb, B
		1,25						0,8-1,2	
		0,7-1,0						3,0	

Комплекс дилатометрических, металлографических исследований и испытаний механических свойств был выполнен в ЦКП НИИ Наносталей при ФГБОУ ВО «МГТУ».

На комплекс Gleeble 3500 образцы диаметром 6 мм и длиной 80 мм для перевода стали в аустенитное состояние нагревали в вакууме со скоростью 1°С/с до 1000°С с последующей выдержкой в течение 15 мин. Для исследования распада переохлажденного аустенита охлаждение образцов осуществляли со скоростями в диапазоне от 1 до 10°С/с. Критические точки стали определяли на основе дилатометрических испытаний, которые проводились на модуле Pocket Jaw комплекса. Данный модуль характеризуется возможностью регулирования скорости, времени и температуры нагрева образцов, а также управления скоростью охлаждения, что необходимо для эксперимента. По результатам дилатометрических испытаний были построены дилатометрические кривые – зависимости изменения диаметра образца от температуры, по перегибам на которых и определялись критические точки.

Для микроанализа из образца по стандартной методике были приготовлены микрошлифы. Приготовление шлифа проводилось с использованием прессовки образцов в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Buechler.

Для выявления микроструктуры поверхность шлифа подвергалась травлению в четырехпроцентном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом. Для выявления качественных и количественных характеристик формирующейся структуры использовался оптический микроскоп Meiji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO [10]. Микроструктура при

цтов с V-образным надрезом – в соответствии с ГОСТ 9454; измерение твердости по Бринеллю HBW проводилось по ГОСТ 9012.

Результаты исследований и их обсуждение

Микроструктура образцов стали №2 после охлаждения с различными скоростями приведена на рис. 1.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что, при малых скоростях охлаждения (1°С/с) в структуре наблюдается бейнит (Б), небольшое количество мартенсита (М) и по границам зерен небольшие участки феррита (Ф) (рис. 1, а, б). При скорости охлаждения 3°С/с количество бейнита (Б) сильно уменьшается, участки феррита не наблюдаются и микроструктура почти полностью состоит из мартенсита (М) (рис. 1, в, г) При более высоких скоростях охлаждения (5-10°С/с) в структуре преобладающей становится полностью мартенситная составляющая (рис. 1, д-з).

Микротвердость образца, охлажденного со скоростью 1°С/с, составила 3941 МПа. Относительно невысокое значение твердости объясняется присутствием феррита (Ф) и большого количества бейнита (Б). Начиная со скорости охлаждения 3°С/с, твердость повышается до 5379 МПа и при 10°С/с становится равной 5544 МПа.

На основе анализа результатов комплексного дилатометрического, металлографического анализов и измерения твердости были установлены закономерности структурно-фазовых превращений, происходящих в стали №2 при непрерывном охлаждении.

При охлаждении со скоростью от 1°С/с распад переохлажденного аустенита начинается с выделения при температурах 600-550°С небольшого количества избыточного феррита (см. рис. 1, а, б). При увеличении скорости охлаждения температура начала выделения феррита понижается, а его количество в структуре уменьшается.

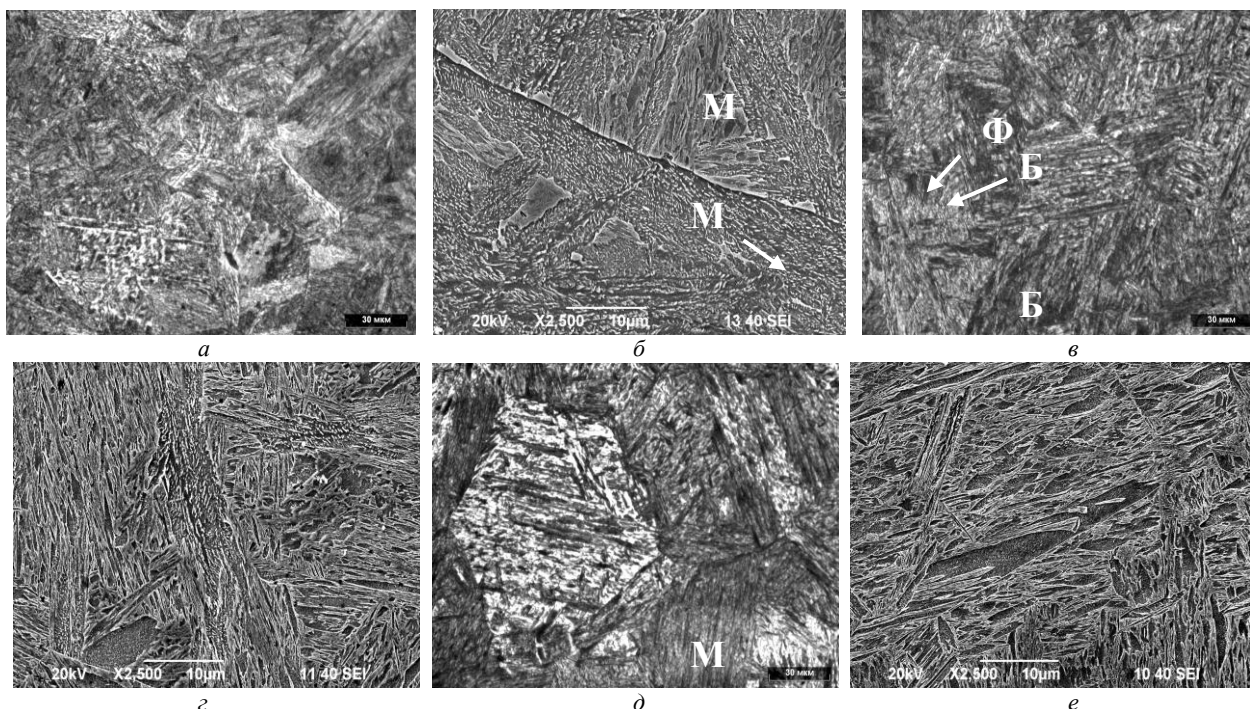


Рис. 1. Микроструктура стали №2 после охлаждения со скоростями, °С/с:
1 (а, б), 3 (в, г), 5 и 10 (д, е)

При скоростях охлаждения от 2 и до 5°С/с распад переохлажденного аустенита происходит по промежуточному механизму с образованием бейнита. Но промежуточное (бейнитное) превращение, начинающееся при температуре примерно 400°С, не идет до конца и поэтому в структуре наряду с бейнитом присутствует мартенсит. При скорости более 5°С/с бейнитное превращение подавляется сдвиговым бездиффузионным путем и образуется только мартенситная составляющая (см. рис. 1, д-з). Таким образом, верхняя критическая скорость закалки составляет 5°С/с.

На основании результатов комплексного исследования были построены термокинетические (ССТ) диаграммы распада переохлажденного аустенита сталей № 1, 2 (рис. 2, 3).

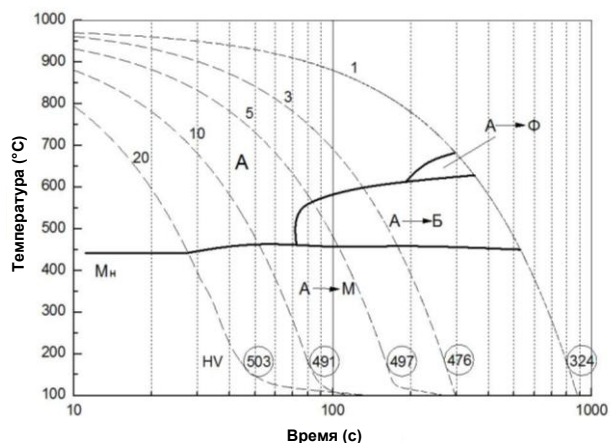


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали №1

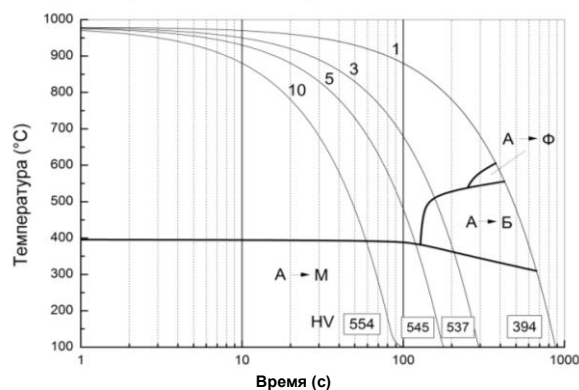


Рис. 3. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали №2

Сравнительный анализ с термокинетической диаграммой, построенной для стали базовой марки стали, показал, что дополнительное легирование марганцем (1,25%) приводит к повышению устойчивости переохлажденного аустенита, к снижению критической скорости закалки и повышению твердости при всех скоростях охлаждения.

Микроструктура образцов стали №3 после охлаждения с различными скоростями приведена на рис. 4.

Анализ полученных результатов показал, что в этой стали уже при малых скоростях охлаждения (1°С/с) в структуре наблюдается большое количество мартенсита (М) и немного бейнита (Б), выделение феррита (Ф) подавлено полностью (рис. 4, а, б). При скорости охлаждения 3°С/с бейнита (Б) не обнаруживается и микроструктура полностью состоит из мартенсита (М) (рис. 4, в-з). Аналогичная структура выявлена при 5 и 10°С/с (рис. 4, д-е).

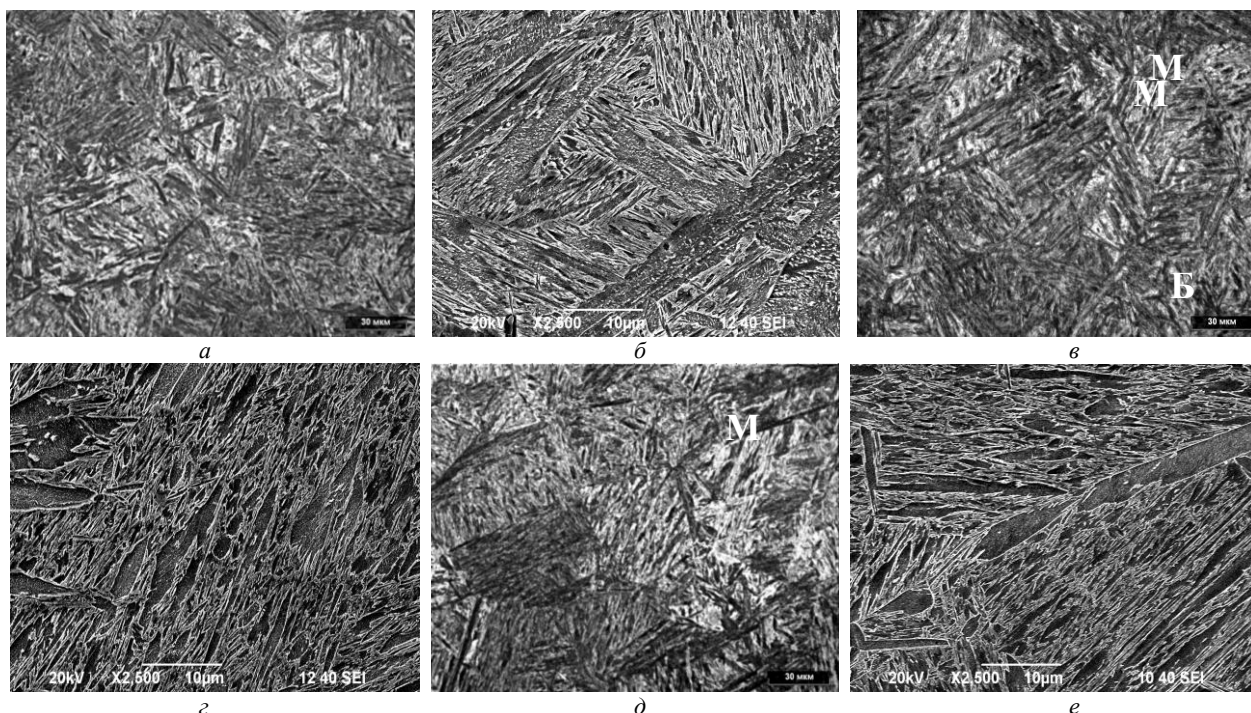


Рис. 4. Микроструктура стали №3 после охлаждения со скоростями, °C/c: 1 (а, б), 3 (в, г), 5 и 10 (д-е)

Таким образом, анализ структурно-фазовых превращений показал, что при малых скоростях охлаждения (1°C/c) превращение переохлажденного аустенита (в интервале 500-400°C) идет в основном по промежуточному механизму с образованием верхнего бейнита игольчатой морфологии. При больших скоростях охлаждения превращение идет сдвиговым бездиффузионным механизмом, структура состоит только из мартенсита.

На основе анализа результатов дилатометрического и металлографического анализов, испытания твердости и установленных закономерности структурно-фазовых превращений, происходящих при непрерывном охлаждении, была построена термокинетическая диаграмма (ССТ) распада переохлажденного аустенита для стали №3, представленная на рис. 5.

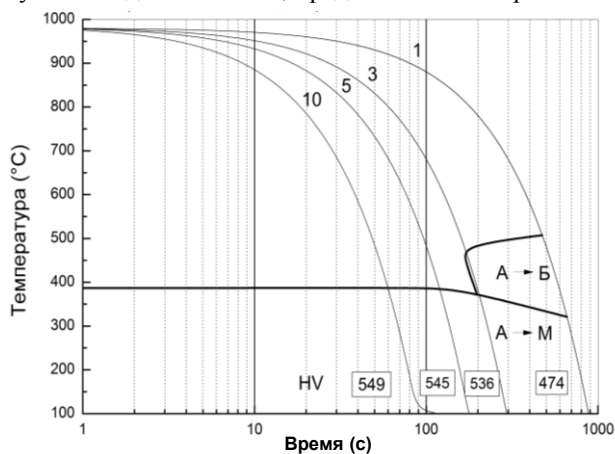


Рис. 5. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали №3

При скорости охлаждения 1°C/c микротвердость составила 4748 МПа, а при скорости 10°C/c – 5496 МПа. Повышенное значение твердости объясняется присутствием уже при малых скоростях охлаждения большого количества мартенсита (М).

Результаты количественного анализа и измерения твердости исследуемых марок сталей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количественные характеристики микроструктуры и твердость исследуемых сталей при различной скорости охлаждения

Скорость охлаждения, °C/c	Относительная объемная доля структурных составляющих, %			Твердость, HV
	Феррит	Бейнит	Мартенсит*	
1	5	92	3	324
3	0	10	90	476
5	0	5	95	497
10	0	0	100	491
20	0	0	100	503
1	5	88	7	394
3	0	3	97	537
5	0	0	100	545
10	0	0	100	554
1	0	5	95	474
3	0	2	98	536
5	0	0	100	545
10	0	0	100	549

* – включая количество остаточного аустенита

Сравнительный анализ с термокинетической диаграммой стали базовой марки стали №1 и стали

№3 показал, что дополнительное легирование никелем (3,2% Mn) также приводит к повышению устойчивости переохлажденного аустенита и значительному снижению критической скорости закалки и повышению твердости на всех скоростях охлаждения. При этом твердость в стали №3 уже при малых скоростях охлаждения будет выше, чем в сталях №1 и 2. То есть никель в большей степени способствует снижению критической скорости закалки.

Полученные результаты позволили установить скорость охлаждения, при которой достигается максимальная твердость.

Результаты механических испытаний исследованных сталей после закалки и низкого отпуска представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты механических испытаний проката после закалки и низкого отпуска

Твердость HBW	Ударная вязкость KCV ⁻⁴⁰ , Дж/см ²
495	38
540	35
530	40

Заключение

Таким образом, результаты исследования структурно-фазовых превращений переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении высокопрочных сталей и анализ построенных термокинетических диаграмм для этих сталей позволяют сделать следующее заключение:

1. Дополнительное легирование стали базового состава марганцем (1,25%) позволяет получить высокие значения твердости (более 540 HV) при скорости охлаждения 5°C/с и более при отсутствии в структуре бейнита и феррита. Однако дополнительное легирование марганцем приводит по сравнению с базовой маркой стали к некоторому понижению ударной вязкости KCV⁻⁴⁰ с 38 до 35 Дж/см².

2. Дополнительное легирование стали базового состава никелем (более 3%) позволяет достигать высокие значения твердости (более 540 HV) при более низких скоростях охлаждения (3°C/с), что объясняется формированием уже при этих скоростях структуры мартенсита.

Таким образом, дополнительное легирование никелем (более 3%) привело к более значительному по-

вышению устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закалки, чем марганец. Кроме того, никель по сравнению с базовой маркой стали несколько повысил ударную вязкость KCV⁻⁴⁰ с 38 до 40 Дж/см².

Список литературы

1. Потак Я.М. Высокопрочные стали. М.: Металлургия, 1972. 208 с.
2. Новые высокопрочные стали / Л.Н. Беляков, А.Ф. Петраков, Н.Г. Покровская, А.Б. Шалькевич // Металловедение и термическая обработка металлов. 1997. № 8. С. 24-28.
3. Гехт А.Х. О применении высокопрочных сталей для краностроения // Технология машиностроения и организация производства. 2014. №2. С. 23-26.
4. Горынин И.В., Рыбин В.В., Мыльшевский В.А. Основные аспекты создания и применения высокопрочной конструкционной стали // Вопросы материаловедения. 1999. Вып. 3(20). С. 7-21.
5. Анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, Г.А. Бережная, М.С. Гущина, А.С. Кузнецова, Д.Ю. Алексеев // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. №2. С.19- 28.
6. Основные виды и области применения стратегического высокопрочного листового проката / М.В. Чукин, В.М. Салганик, П.П. Полецков, С.В. Денисов, А.С. Кузнецова, Г.А. Бережная, М.С. Гущина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №4. С. 41 - 44.
7. Исследование влияние температуры нагрева при закалке на механические свойства низколегированной высокопрочной стали / В.М. Салганик, П.П. Полецков, Г.А. Бережная, М.С. Гущина, Д.Ю. Алексеев // Производство проката. 2015. С. 32-37.
8. Физическое моделирование процессов производства горячекатаного листа с уникальным комплексом свойств / В.М. Салганик, С.В. Денисов, П.П. Полецков, П.А. Степанов, Г.А. Бережная, Д.Ю. Алексеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 3. С. 37 -39.
9. Исследование влияния скорости охлаждения на формирование структуры катанки из стали 80P, предназначенной для производства высокопрочной арматуры / Н.В. Копцева, Д.М. Чукин, Ю.Ю. Ефимова, О.А. Никитенко, А.С. Ишимов // Черные металлы. 2014. № 2. С. 23-31.
10. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet pro software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing // Metal Science and Heat Treatment. 2012. Т. 54. № 7-8. С. 387-392.

Сведения об авторах

Чукин Михаил Витальевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологий обработки материалов, первый проректор-проректор по научной и инновационной работе, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Полецков Павел Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Барышников Михаил Павлович – канд. техн. наук, проф. кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-12. E-mail: arcsomag@mail.ru.

Копцева Наталья Васильевна – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-84-68. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Ефимова Юлия Юрьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-12. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Никитенко Ольга Александровна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-12. E-mail: olganikitenko@list.ru.

Ишимов Алексей Сергеевич – аспирант кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-12. E-mail: ttsoprano.a@gmail.com.

Гушина Марина Сергеевна – студентка кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-85-25. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Бережная Галина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519)29-84-31. E-mail: galina_1609@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

**STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS OF MEDIUM-CARBON
COMPLEX-ALLOYED LOW TEMPERED STEEL AT UNINTERRUPTED COOLING**

Chukin Mihail Vitalevich – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Poletskov Pavel Petrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Baryshnikov Mikhail Pavlovich – Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-12. E-mail: arcsmag@mail.ru.

Koptseva Natalya Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-84-68. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-12. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Nikitenko Olga Aleksandrovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-85-12. E-mail: olganikitenko@list.ru.

Ishimov Aleksey Sergeevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ttsoprano.a@gmail.com.

Gushchina Marina Sergeevna – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Berezhnaya Galina Andreevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)29-84-31. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Abstract. The impact of different cooling rates on the structural and phase transformations, the location of the critical points, the quantitative parameters of structure and hardness of high-strength steels at uninterrupted cooling was established with a use of research complex Gleeble 3500. The continuous cooling transformation diagram was made. The guidelines for choosing the alloying complex and cooling rate for steel to achieve the combination of high strength and sufficient impact strength after hardening and low-temperature tempering.

Keywords: high-strength steel, research complex Gleeble 3500, dilatometry, continuous cooling transformation diagram, structure, hardness, impact strength.



РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.054.82:666.76

Избембетов Д.Д., Зупаров Н.С., Исмаилов Н.Е., Амангельдиев Н.М., Байдимиров М.А.

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА

Аннотация. Предлагается использование шлаков высокоуглеродистого феррохрома в качестве огнеупорных материалов.

Ключевые слова: пыль газоочистки, шлак высокоуглеродистого феррохрома, огнеупор, жидкое стекло.

Проблеме утилизации техногенных отходов ферросплавного производства посвящен целый ряд исследований [1–4]. Ниже приводятся результаты лабораторных и промышленных исследований по оценке возможности использования шлаков и пыли в качестве огнеупорных материалов.

Для проверки возможности применения рукавной пыли с газоочистки ПЦ №1 при изготовлении огнеупорных материалов была проведена серия опытов по получению огнеупорных изделий в условиях лаборатории НИЦ АЗФ. В лабораторных испытаниях использовалась сухая пыль газоочистки от печей, производящих углеродистый феррохром. Средний химический состав выглядит следующим образом, %: Cr_2O_3 – 17,33; С – 4,02; SiO_2 – 13,54; MgO – 44,86.

В качестве связующего использовалось жидкое стекло с расходом 5% от массы пыли. Смешивание жидкого стекла и пыли производилось в течение 10 мин в смесительной машине С2Р-800-НУР. Далее изготавливались брикеты на прессе ИП-1000 с прессформой размерами 100x100x49 мм. Прессование осуществлялось с усилием 375 кН. Сырые брикеты имели прочность в пределах 49,43–54,52 кгс/см².

Полученные образцы подвергались термообработке в сушильном шкафу с постепенным нагревом и выдержкой в течение двух часов при температурах 300°C и 1000°C и последующим естественным охлаждением до комнатной температуры.

Образцы, испытанные при температуре 300°C, сохранили форму без дефектов и трещин. Образцы из второй группы также выдержали форму. Внешняя часть покрыта мелкими порами.

Образцы из первой группы имели среднюю прочность 190 кгс/см², а прочность из второй группы составила 103 кгс/см².

При высокотемпературной обработке выделялось жидкое стекло в виде расплавленной массы на рабочей поверхности плит печи для термообработки.

Следующая серия опытов проводилась без использования жидкого стекла. Методика опытов была

аналогичной первой серии. В качестве связующего применялась вода в количестве 5% от массы пыли. Образцы после термообработки не изменили форму, имели плотную структуру без пор с мелкими трещинами.

Прочность образцов при низкой температуре обработки составила в среднем 190 кгс/см², высокотемпературная обработка позволила получить среднюю прочность образцов 141 кгс/см².

Пробные лабораторные опыты показали принципиальную возможность упрочнения изделий из пыли без использования жидкого стекла.

После этих опытов приступили к изготовлению промышленных партий огнеупорных кирпичей на опытном участке. В качестве исходных материалов для изготовления кирпичей применялся тонкомолотый шлак от производства высокоуглеродистого феррохрома и пыль газоочистки от печей, производящих высокоуглеродистый феррохром.

Рабочая смесь подготавливалась в смесительной машине С2Р-800-НУР с последующей добавкой связующего материала (воды), прессование осуществлялось на прессе СМ1085А. Общая масса на один замес составляла 700 кг.

В ходе работы производилась отработка параметров по расходу воды, времени смешения, выбору высоты камер стола пресса и крупности молотого шлака.

Опытные образцы кирпичей сушились при температуре 200-300°C с длительностью выдержки в течение 15 ч.

После завершения процесса сушки и остывания были отобраны образцы кирпича для испытания их на прочность при сжатии. Для сравнения были отобраны кирпичи, изготовленные с использованием жидкого стекла. Испытания проводились с применением пресса ИП-1000. Результаты испытаний представлены в таблице.

Как видно из таблицы, результаты испытаний имеют неоднозначный характер. Широкий предел по прочности объясняется настройкой технологии и подбором влажности смеси.

Результаты испытания на прочность опытной партии огнеупорных кирпичей

Вариант технологии	Масса кирпича, кг	Размеры образцов, см	Площадь сечения, см ²	Предел прочности при сжатии кгс/см ²
Опытный	3,1-3,9	12x8x10 -12x12,5x10	96 - 150	35 - 690
Обычный	4,2-4,6	12x10x10 – 12x12x10	111 - 144	347 - 769

В таблице также представлены результаты испытаний обычных кирпичей с разными температурными режимами сушки (200-300°C). Опытные кирпичи имели прочность ниже, чем у обычных. Однако, как показывает практика, представленный показатель прочности опытных кирпичей более чем достаточен для использования их при футеровке. Например, для шамота, традиционно используемого в металлургии, среднее значение прочности составляет менее 390 кгс/см².

Несмотря на столь высокие показатели прочности сравнительных кирпичей на жидком стекле, технология их производства обладает рядом недостатков, такими как высокая длительность и повышенная температура процесса упрочняющей сушки. При этом главным недостатком является применение в качестве связующего жидкого стекла, затраты на которое в себестоимости готовой продукции составляют более 58%.

Испытания опытных огнеупорных кирпичей были проведены на реальных ковшах действующего производства. Первый слой (внешний от расплава) выполняли из опытных кирпичей. Кирпичи устанавливались вертикально с затиркой швов огнеупорной глиной. Второй слой (рабочий) выкладывался из шамотного кирпича марки ШБ-5 с аналогичной затиркой швов глиной. В общей сложности на футеровку ковша было израсходовано 240 шт. опытного и 230 шт. шамотного кирпича. По завершении футерования ковш подвергли огневой сушке в течение 1,5-2 ч.

Эксплуатация ковшей показала, что не наблюдается активное разрушение под воздействием тепловой нагрузки и химической эрозии. Носок ковша поверх кирпичей заправлялся песком. После разлива металла было проверено состояние кирпичей носка ковша. Проверка показала, что разрушение и размывание кирпичей не произошло. В этом состоянии ковш использовался в общей сложности на 9 плавках, после которых требовалась замена рабочего слоя футеровки. После перефутеровки рабочего слоя ковш использовался ещё в течение трех плавков. На третьей плавке было замечено покраснение кошуа под носком. Это связано с тем, что при выкладке шамотного слоя в этом районе было допущено нарушение целостности футеровки, зазор между кирпичами составлял 30 мм, вследствие этого произошло проникновение расплава во внутренний слой футеровки. Эксплуатация ковша с футеровкой из опытного кирпича была приостановлена.

Дальнейшее испытание опытного кирпича осуществлялось на другой футеровке ковша в аналогичных условиях. Необходимо отметить, что рабочий (шамотный) слой футеровки в среднем по данным цеха изнашивается в течение 8 плавков и под выпуск

расплава обычно ковши чередуют. В нашем же случае были моменты, когда под выпуск непрерывно использовался экспериментальный ковш, футеровка ковша выдержала 9 выпусков, что соразмерно с текущими показателями.

В следующий опытный период рабочий слой футеровки ковша выдержал 17 выпусков, слой из опытного кирпича не разрушился, общее количество расплава, разлитого с помощью экспериментального ковша составило 67,2 т. Это говорит о том, что кирпичи, изготовленные из смеси шлака и пыли газоочистки, в полной мере могут быть приняты к эксплуатации в производственных условиях.

Дополнительно для определения взаимодействия опытного огнеупорного кирпича с металлическим и шлаковым расплавом и возможности использования его при футеровке летки печи был проведен очередной эксперимент. После планового профилактического ремонта лоток печи зафутеровали в два слоя, нижний слой был выложен из шамотного кирпича, верхний – рабочий слой из опытного кирпича. Футеровка верхнего слоя оставалась в рабочем состоянии в течение трех смен, при этом было проведено 8 выпусков металла и шлака. При обычной схеме футеровки летки печи стойкость их составляет до 10 выпусков с учетом того, что оба слоя выкладываются шамотным кирпичом. В этом случае имеется принципиальная возможность по замене импортного дорогостоящего шамотного кирпича на экспериментальный кирпич из рукавной пыли и шлака, что, естественно, отразится на себестоимости выпускаемой продукции. С другой стороны, этот факт еще раз подтверждает возможность полной замены обычных кирпичей на огнеупоры из пыли газоочистки при футеровке ковшей.

Технология производства огнеупорного кирпича после этих испытаний и приобретения смешивающих бегунов была принята в производство на постоянной основе. Размеры кирпичей 230x115x65. Основными свойствами огнеупорных изделий являются следующие:

- пористость открытая 21%;
- водопоглощение 6,5%;
- плотность 2,74 г/см³;
- предел прочности при сжатии 18 Н/мм²;
- огнеупорность >1770 °С.

Себестоимость производства ниже закупочной цены стандартного шамотного кирпича марки ШБ-5 в 5-8 раз. Чистая прибыль от реализации проекта – 150 долл. США на одной тонне. Рынки сбыта на территории РК и стран СНГ – литейные цеха, заводы черной и цветной металлургии, теплоагрегаты ТЭЦ, строительная индустрия (печь обжига цемента, керамзита),

котельные печи.

Список литературы

1. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка / Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В. // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2(15). С. 101-105.
2. Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №4. С. 26-29.
3. Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В. Исследование двухстадийного способа переработки пылей и шламов с помощью математических моделей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №3. С. 48-52.
4. Металлизация доменных шламов с удалением цинка / Никифиров Б.А., Бигеев В.А., Сибгатуллин С.К., Панишев Н.В., Ушеров А.И., Пантелеев А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №2. С. 23-25.
5. Лапкина Ю.В., Никулина Л.Б. Свойства и способы переработки шлаков углеродистого феррохрома // Сталь. 1976. №6. С. 522-524.
6. Чебуков М.Ф., Пьячев В.А., Мейке В.Е. Изучение возможности использования феррохромового шлака в качестве сырья для производства портландцемента. // Труды Уральского НИИ чер. мет. 1973. Т.17. С. 136-143.
7. Шевченко В.Ф. Состояние переработки, утилизации и классификации отходов ферросплавного производства // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. №6.
8. Лапкина Ю.В., Грабеклис А.А., Сучильников С.И. Исследование новых способов переработки и использования шлаков ферросплавного производства // Тез. докл. Всесоюз. совещ. «Комплексная переработка и полное использование шлаков черной металлургии и перевод металлургических предприятий на работу без шлаковых отвалов». 1971. С.49-55.
9. Невский Р.А., Бабенко В.Т., Лапкина Ю.В. О состоянии переработки шлаков ферросплавного производства и перспективах перевода предприятий на работу без шлаковых отвалов // Тез. докл. Всесоюз. совещ. «Комплексная переработка и полное использование шлаков черной металлургии и перевод металлургических предприятий на работу без шлаковых отвалов». 1971. С.40-44.
10. Разработка технологии комплексной переработки отвальных шлаков ферросплавного производства / Смирнов Л.А., Сорокин Ю.В., Демин Б.Л. и др. // Сталь. 2008. №6.
11. Применение феррохромового шлака для упрочнения формовочной песчаной смеси с применением силиката натрия в качестве связующего. Ferro-chromeslagashardenerforsodiumsilicatebondedsand. Sin-Tiababu S, K., Sinha S. K., Rao G, N. «NML Techn. J.», 1977, 19, № 3-4, 58-60 (англ.).

Сведения об авторах

Избембетов Джубатхан Джумаханович – канд. техн. наук, проф. кафедры металлургии, Актюбинский региональный государственный университет им. К.Жубанова, г. Актобе, Республика Казахстан. Тел.: 8(7132)54-06-19. E-mail: info@arsu.kz.

Зупаров Нурсултан Сандыбаевич – магистрант кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: nursik.007@mail.ru.

Исмаилов Нурдаулет Еркинбекулы – магистрант кафедры металлургии и литейного производства, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», Челябинск, Россия. E-mail: nurdik@bk.ru.

Амангельдиев Нурлан Маратович – магистрант кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: nurik-9393@mail.ru.

Байдимиров Мурат Акбулатович – магистрант кафедры металлургии и литейного производства, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», Челябинск, Россия. E-mail: mur_murych@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SLAG RECYCLING HIGH-CARBON FERROCHROME

Izbembetov Dzhubathan Dzhumahanovich – Ph.D., Professor of ferrous metallurgy department, Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan. Phone: 8(7132)54-06-19. E-mail: info@arsu.kz.

Zuparov Nursultan Sandybaevich – undergraduate student of ferrous metallurgy department of the Institute of metallurgy, machine building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: nursik.007@mail.ru.

Ismailov Nurdaulet Erkinbekuly – undergraduate student of ferrous metallurgy and foundry department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: nurdik@bk.ru.

Amangeldiyev Nurlan Maratovich – undergraduate student of ferrous metallurgy department of the Institute of metallurgy, machine building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: nurik-9393@mail.ru.

Baydimirov Murat Akbulatovich – undergraduate student of ferrous metallurgy and foundry department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: mur_murych@mail.ru.

Abstract. *The usage of high-carbon ferrochromium slag as refractory materials.*

Keywords: *Dust and gas purification, high-carbon ferrochrome slag, refractory, liquid glass.*



УДК 669.054.83:621.928.8

Шатохин И.М., Бигеев В.А., Кузьмин В.Л., Черняев А.А., Амангельдиев Н.М., Зупаров Н.С.

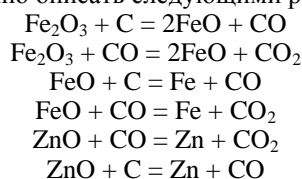
ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ И ШЛАМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

Аннотация. *Металлургические отходы в виде шлаков и железоцинксодержащих шламов и пылей можно отнести к техногенному железорудному сырью, Их утилизация позволит снизить потребление природных ресурсов. Кроме того, дополнительную прибыль от переработки этих отходов можно получить благодаря наличию в них цинка. Для этого предлагается использовать технологию переработки, при которой помимо восстановления железа происходит эффективное улавливание паров цинка.*

Ключевые слова: *цинксодержащие материалы, шлак, шлам, пыль, магнитная сепарация, корольки, оксидный магнитный продукт, немагнитный продукт.*

Актуальность утилизации отходов черной и цветной металлургии безусловна. При этом существующие и предлагаемые способы не обеспечивают в полной мере решение существующих проблем. Особые трудности имеются при переработке шламов и пылей, уловленных в доменном и сталеплавильном производствах. Во-первых, в них имеется значительное содержание цинка (от 0,8 до 10% и более), что серьезно затрудняет утилизацию этих материалов в доменных печах. Во-вторых, шламы и пыли плохо окучиваются и при дальнейшей переработке активно разрушаются, особенно в восстановительных условиях [1-3].

Процессы восстановления цинксодержащих материалов можно описать следующими реакциями:



В Магнитогорске на протяжении ряда лет проводят совместные исследования коллективы НТПФ «Эталон» и кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И.Носова». В данном направлении предлагается совместная комплексная утилизация шлаков и шламов доменного и сталеплавильного производства. Здесь можно выделить два принципиальных момента [4, 5]:

– во-первых, используется физическое тепло доменных или конвертерных шлаков. Это позволяет в

полтора-два раза уменьшить общий расход условного топлива;

– во-вторых, основные химические реакции и тепловые процессы осуществляются в оригинальных погружных реакторах с внутренним разряжением. Таким образом обеспечивается слой вспененного шлака, эффективно ассимилирующий пылевидные частицы шламовой моношихты. Кроме того, создаются благоприятные условия для испарения восстановленного цинка, сдвигается равновесие соответствующей реакции.

Возможны два варианта реализации технологий, в первом случае используется жидкая фаза в шлаковом ковше (чаше), во втором – создается специальный подовый агрегат. Первый вариант привлекает своей простотой, но потребует обязательной полномасштабной переработки шлака с разделением продуктов процесса. Второй обеспечит разделение продуктов по ходу процессов, но потребует гораздо больших капитальных затрат [6-12].

Более подробно остановимся на первом варианте. Проведенные расчеты для условий ОАО «ММК» показали перспективу предлагаемой технологии в сравнении, например с процессом «Ромелт» (см. таблицу).

Предварительный анализ показывает, что, в нашем случае степень восстановления железа может колебаться примерно от 50 до 90%. Восстановление и испарение цинка превысит 95%. Образующийся металл будет иметь химический состав, соответствующий чугуна. Выявлены явные преимущества удельной энергоёмкости металлопродукции в предлагаемом процессе. Так, расход условного топлива вдвое ниже, чем в процессе «Ромелт», а также в качестве дутья применяется не обогащенный кислородом воздух.

Основные показатели утилизации металлургических шламов и шлаков

Показатель	Процесс РОМЕЛТ, смесь доменного, конвертерного и шламов ДСА ММК	Доменный шлак + конвертерный шлак ММК	Конвертерный шлак+пыль ЭСПЦ + конвертерный шлак ММК
Степень металлизации, %	90	90	90
Производительность по переработке шламов, т/ч (т/год)	79,2	25,0	25,0
Использование конвертерного шлака, т/ч	–	75,0	75,0
Выход металлической фазы, т/ч	36	30,1	29,4
Выход шлака, т/ч	11,4	61,6	58,12
Выход цинкового продукта, кг/т металлической фазы	нет св.	9,13	65,4
Удельные расходы на тонну металлической фазы:			
- Уголь, т	0,664	0,095	0,178
- коксовый газ, м ³	–	455,1	428,7
- расход условного топлива, т у.т.	0,738	370,3	444,4
- технологический кислород, м ³	865	–	–
- сжатый воздух, м ³	нет св.	4517,98	4636,09
- флюсы, т	0,056	-	-
Степень обогащения дутья, %	55	21	21
Степень дожигаания, %	69	100	100
Состав шлака, %:			
FeO	нет св.	7,52	7,29
SiO	36,1	19,16	17,54
Al ₂ O ₃	14,3	1,95	1,60
CaO	36,1	56,37	57,23
MgO	6,6	14,12	15,20
MnO	0,55	0,035	0,116
TiO ₂	1,32	нет св.	нет св.
CaO/ SiO ₂	1,0	2,94	3,26

Совместными усилиями с НТПФ «Эталон» в лаборатории кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова» была создана экспериментальная установка для проверки принципиальных основ технологии.

Исходная шихтовая смесь металлургического шлама и коксовой мелочи соотношением 3:1 загружается в бункер шихты. Производится расплавление шлака массой 20-25 кг в графитовом тигле индукционной печи ИП 006 до температуры 1400-1450 °С. Далее включается компрессор, подается воздушное дутьё и производится опускание реакционной камеры в шлаковый расплав до обеспечения шлакового затвора. Включается эксгаустер, после чего увеличивается расход дутья и начинается подача в расплав моношихты. Ручным насосом подается вода для орошения внутреннего объема скруббера. Спустя 4–5 мин после отдачи всей шихтовой смеси выключается эксгаустер, уменьшается до минимума подача воздуха, поднимается и отводится в сторону погружная камера. Выключается подача воздуха и нагрев печи, расплав выпускается из печи в изложницу. Под скруббер устанавливается пустая емкость и сливается вода с продуктами возгонки. Подготавливаются и передаются в лабораторию пробы обработанного расплава и про-

дуктов возгонки.

Исследования возможности и эффективности разделения продуктов комплексной переработки металлургических шлаков и шламов проводились в лабораторных условиях кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова». Был использован способ переработки металлургических шлаков, включающий дробление шлака, классификацию по крупности, выделение металла грохочением и магнитную сепарацию.

Переработка шлакометаллического конгломерата массой 25-30 кг заключается в предварительном грохочении и отделении негабаритных кусков шлака, двухстадийном дроблении с последующей магнитной сепарацией и грохочением с получением готовых продуктов - магнитного продукта с высоким содержанием железа и немагнитного продукта.

Исследования методом сухой магнитной сепарации выполнены на лабораторном магнитном сепараторе барабанного типа ЕАЖИ.684.126.272 с верхней подачей материала.

Продукт, подлежащий сепарации, подается во входное отверстие в верхней части крышки. Под воздействием магнитного поля сепаратора магнитный продукт притягивается к поверхности обечайки и пе-

ремещается вместе с ней. При выходе из зоны действия магнитного поля магнитный продукт опадает в короб магнитной фракции. Для разгрузки сильномагнитных частиц с поверхности обечайки на ней установлены поперечные выносные планки. Немагнитный продукт движется по естественной траектории падения и падает в короб немагнитной фракции.

Принципы разделения шлакометаллического конгломерата в дальнейшем могут использоваться в промышленных условиях. Методика экспериментов и опытная установка совершенствуются.

Испытания переработки доменных шлака и шлама показали, что:

1. Шлаковая пена в разряженном пространстве (остаточное давление 0,1-0,9 МПа) успешно ассимилирует пылевидные материалы.

2. Восстановленное железо быстро науглероживается (до 4,5–5,1% углерода) и застывает в шлаковой ванне в виде сферических корольков диаметром до 30 мм и общей массой 400-600 г.

3. Содержание серы в металле находится на удовлетворительном уровне – 0,027–0,031%.

4. Оксидный магнитный продукт составляет 30-50% от массы слитка, содержит 64,3–73,5% железа и менее 0,1% цинка.

5. Содержание цинка в уловленном на опытной установке шламе составляет 35–42%.

Список литературы

1. Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В. Исследование двухстадийного способа переработки пылей и шламов с помощью математических моделей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №3. С. 48-52.
2. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и

извлечением цинка / Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А., Пантелеев А.В. // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2(15). С. 101–105.

3. Металлизация доменных шламов с удалением цинка / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Сибатуллин С.К., Панишев Н.В., Ушеров А.И., Пантелеев А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №2. С. 23-25.
4. Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 26 – 29.
5. Черняев А.А. Особенности процесса переработки металлургических цинксодержащих шламов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления прикладных исследований '2011». Одесса: Черноморье, 2011. Т. 7. С. 88–90.
6. Хайдуков В.П., Мамаев А.Н., Серяков Н.И. Комплексная схема утилизации цинксодержащих шламов конвертерного производства // Сталь. 2007. № 7. С. 120–122.
7. Поведение цинка в доменных печах / Шукин Ю.П., Марусевский Б.А., Рыбаков Б.П. и др. // Сталь. 1992. № 3. С. 8–12.
8. Мишин В.Д., Смирнов В.И., Фокин В.В. Извлечение цинка из пыли доменных печей // Цветная металлургия. 1958. № 10. С. 16–20.
9. Мишин В.Д., Фокин В.В., Тихонов А.И. Комплексная переработка доменных шламов // Цветная металлургия. 1960. № 20. С. 47–50.
10. Блинкова Е.В., Елисеев Е.И. Обесцинкование шламов доменных печей // Цветная металлургия. 2004. № 8. С. 2–6.
11. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии / Толочко А.И., Славин В.И., Супрун Ю.М. и др. Челябинск: Металлургия. Челябин. отд-ние, 1990. 152 с.
12. Тащанко П.А. Промышленная технология вовлечения в производство цинксодержащих доменных и сталеплавильных шламов // Обогащение руд. 2005. № 1. С. 42–44.

Сведения об авторах

Шатохин Игорь Михайлович – генеральный директор НТПФ «Эталон», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8(3519) 49-91-95

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Кузьмин Александр Леонидович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НТПФ «Эталон», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8 (3519) 49-91-78

Черняев Александр Александрович – канд. техн. наук, ведущий инженер-программист ЗАО «ММК - Информсервис», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8-902-890-29-06

Амангельдиев Нурлан Маратович – магистрант кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: nurik-9393@mail.ru

Зупаров Нурсултан Сандыбаевич – магистрант кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: nursik.007@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TECHNOLOGY DIVISION PRODUCT OF COMPLEX PROCESSING OF METALLURGICAL SLAG AND SLUDGE USING MAGNETIC SEPARATION

Shatohin Igor Mikhailovich – CEO STPP "Etalon", Magnitogorsk, Russia. Phone: 8 (3519) 49-91-95

Bigeev Vahit Abdrashitovich – D.Sc. (Eng.), Professor of ferrous metallurgy department of the Institute of metallurgy, machine building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Kuzmin Aleksandr Leonidovich – Ph.D. (Eng.), a leading STPP "Etalon" researcher, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519) 49-91-78

Chernyaev Alexander Aleksandrovich – Ph.D. (Eng.), Senior Software Engineer of JSC "MMK - Informservis", Magnitogorsk, Russia. Phone: 8-902-890-29-06

Amangeldiyev Nurlan Maratovich – undergraduate student of ferrous metallurgy department of the Institute of metallurgy, machine building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: nurik-9393@mail.ru

Zuparov Nursultan Sandybaevich – undergraduate student of ferrous metallurgy department of the Institute of metallurgy, machine building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: nursik.007@mail.ru

Abstract. Metallurgical waste in the form of slag and zhelezotsinksoderzhaschih sludge and dusts can be attributed to anthropogenic iron ore raw materials, recycling will reduce the consumption of natural resources. In addition, the extra profits from the processing of these wastes can be obtained due to the presence in them of zinc. For this proposed use of processing technology in which in addition to iron reduction is effectively capture zinc vapor.

Keywords: zinc containing materials, slag, sludge, dust, magnetic separation, blood oranges, magnetic oxide product, the non-magnetic product.



УДК 669.053

Ахтамов Ф.Э., Нишонов Б. У.

К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИНКОВЫХ КЕКОВ

Аннотация. В статье рассмотрены технологии переработки цинкового кека и приведены недостатки существующей технологии. Представлены результаты исследования термодорообработки и процесса сернокислотного выщелачивания термодорообработанного продукта, целью которого является доизвлечение цинка и ряда цветных металлов. Рассмотрены разнообразные схемы выщелачивание термодорообработанного цинкового кека. Изучены влияние различных факторов (температура, концентрация кислоты, продолжительность выщелачивания, плотность пульпы и т.д.) на степени извлечение металлов в раствор, найдены оптимальные условия его проведения.

Ключевые слова: кек, обжиг, минералы, феррит, выщелачивание, сернокислотный раствор, сульфид, вельцевание, восстановление, термодорообработка.

В настоящее время в мировой практике применяют пирометаллургические и гидрометаллургические способы переработки цинковых кеков. Пирометаллургические методы переработки кеков отличаются большим разнообразием и основаны главным образом на реакциях восстановления оксида и ферритов цинка с помощью углеродистых восстановителей при относительно высоких температурах, возгонке цинка, свинца, редких металлов и окислении возгонов в газовой фазе.

Наибольшее распространение среди пирометаллургических методов переработки цинковых кеков получил процесс вельцевания (восстановительно-

возгонный обжиг) при температуре 1100–1300⁰С с добавкой кокса в количестве 35÷45% от массы перерабатываемого материала. При этом получают цинковые возгоны и клинкер – остаток от вельцевания, который, в свою очередь, содержит много ценных компонентов. Цинковые возгоны возвращаются обратно в процесс сернокислотного выщелачивания.

Недостатками вельцпроцесса являются:

- большой расход дорогого и дефицитного кокса;
- необходимость высоких температур для протекания процесса;
- нерешенность вопросов извлечения других ценных компонентов, таких как Au, Ag, Pb, Cu, Fe и др., из-за отсутствия рациональной технологии пере-

работки медного клинкера.

В связи с этим были проведены исследования возможности переработки цинковых кеков способом термopарообpаботки с последующим сернокислотным выщелачиванием огарка. Термopарообpаботка способствует к переходу нерастворимых водных растворов соединений металлов в водорастворимую форму. Таким образом, результаты термодинамического анализа показали, что при термopарообpаботке цинковых кеков происходит окисление сульфидов в присутствии водяного пара. Элементарная сера и сера, образующаяся при разложении сульфидов, взаимодействуют с парами воды, образуя диоксид серы, который взаимодействует с сульфидными минералами. При термopарообpаботке сульфид цинка ZnS превращается в основном в ZnO , феррит цинка $ZnO \cdot Fe_2O_3$ – в $ZnSO_4$ и Fe_2O_3 , медь – в CuO , сульфиды железа превращаются в Fe_3O_4 – магнетита.

В ходе исследования было изучено влияние температуры термopарообpаботки на степень извлечения различных металлов в раствор. Опыты проводили в температурном интервале от 400 до 800⁰C. Термopарообpаботка цинковых кеков при 600⁰C оказывает положительное влияние на степень извлечения цинка в сернокислотном растворе. При температурах выше 600⁰C извлечение Zn и Cu из термopарообpаботанного продукта в раствор увеличивается незначительно. Поэтому оптимальной для термopарообpаботки цинкового кека можно считать температуру 600⁰C.

При изучении влияния продолжительности термopарообpаботки на степень извлечения металлов в раствор были проведены опыты продолжительностью 0,5; 1; 2; 2,5 и 3 ч. Термopарообpаботка цинкового кека при оптимальном температурном режиме во времени приводит к уменьшению массы навески продукта и росту содержания цинка и других металлов в огарке. На основании полученных результатов и по экономическим соображениям можно утверждать, что оптимальная температура термopарообpаботки составляет 600⁰C, а время термopарообpаботки – 1 ч.

Огарок термopарообpаботки выщелачивали раствором серной кислоты. Применение серной кислоты является технологически и экономически оправданным, так как при этом получают раствор сульфата цинка, который можно вводить в основной цикл цинкового завода. Назначение операции выщелачивания огарка – растворить как можно полнее соединения

цинка, содержащиеся в огарке, и получить чистые растворы для электролиза. Выбор серной кислоты как растворителя обусловлен хорошей растворимостью в ней ZnO , условиями последующей операции электролитического восстановления цинка, а также наличием на любом цинковом заводе в достаточном количестве серной кислоты, получаемой при электролизе и производимой на месте из обжиговых газов.

В мировой практике применяют разнообразные схемы выщелачивания: одностадийную, двустадийную и трехстадийную. Выщелачивание осуществляют периодически и непрерывно. Степень растворения цинка из огарка возрастает с увеличением концентрации H_2SO_4 и температуры, но при этом повышается и содержание в растворе примесей, которые могут ухудшить условия электролиза раствора. Концентрация многих примесей в растворе зависит от pH. Чем выше pH раствора, тем ниже содержание в нем таких примесей, как железо, медь, мышьяк, сурьма и др. Повышение pH возможно до 5,2-5,4. При более высоких pH может гидролизаться цинк и выпасть в осадок в виде гидроксида.

В лабораторных условиях были проведены исследования влияния различных факторов (температура, концентрация кислоты, продолжительность выщелачивания, плотность пульпы и т.д.) на степень извлечения металлов в раствор. Степень извлечения цинка и других металлов при выщелачивании огарка (Т:Ж=1:5) при 60⁰C находится в определенной зависимости от концентрации серной кислоты (рис. 1).

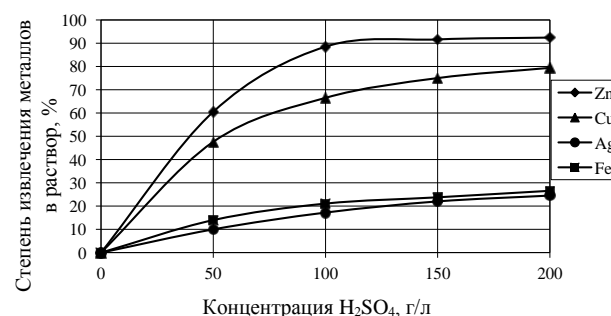


Рис. 1. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от концентрации кислоты

Результаты опытов приведены в таблице.

Результаты сернокислотного выщелачивания термopарообpаботанного цинкового кека

№	Наименование продукта	Выход			Содержание цинка		Извлечение цинка, %	Условия опыта
		г	мл	%	г/л	%		
1	Исходный огарок	00	-	00	-	24,6	100	$C_{H_2SO_4} - 50$ г/л, $\tau_{выщ-е} - 1$ ч, Т:Ж=1:4, $t=60^0C$
	Раствор	-	00	-	5,2	-	57,4	
	Кек	0	-	0	-	13,12	42,6	
2	Раствор	-	00	-	4,2	-	88,2	$C_{H_2SO_4} - 100$ г/л, $\tau_{выщ-е} - 1$ ч, Т:Ж=1:4, $t=60^0C$
	Кек	8	-	8	-	4,27	11,8	
3	Раствор	-	00	-	6	-	90,9	$C_{H_2SO_4} - 100$ г/л, $\tau_{выщ-е} - 2$ ч, Т:Ж=1:4, $t=60^0C$
	Кек	6	-	6	-	3,38	9,1	
4	Раствор	-	00	-	6,5	-	91,9	$C_{H_2SO_4} - 150$ г/л, $\tau_{выщ-е} - 1$ ч, Т:Ж=1:4, $t=60^0C$
	Кек	2	-	5	-	3,22	8,1	

Как видно из результатов опытов, с повышением концентрации серной кислоты в растворе (до 150 г/л) растворимость составляющих огарка линейно возрастает. Увеличение концентрации серной кислоты более 150 г/л не дает существенного увеличения степени перевода цинка в раствор, в то время как переход примесей в раствор (особенно железа) начинает возрастать. Для выщелачивания термодорожков серной кислотой рекомендуется концентрация серной кислоты не выше 150 г/л, этим также можно регулировать степень растворения сопутствующих минералов. При этом извлечение цинка в раствор составляет 91,9% и содержание цинка в кеке после выщелачивания 3,22%. Увеличение концентрации серной кислоты более 150 г/л не дает существенного увеличения степени перевода цинка в раствор, в то время как переход примесей в раствор (особенно железа) начинает возрастать.

Изучение влияния продолжительности процесса на выщелачивание цинка из продукта сернокислым раствором с концентрацией 150 г/л показывает, что в начальный период (до 60 мин) переход цинка в раствор протекает очень интенсивно, а через 120 мин устанавливается динамическое равновесие процесса выщелачивания (рис. 2).

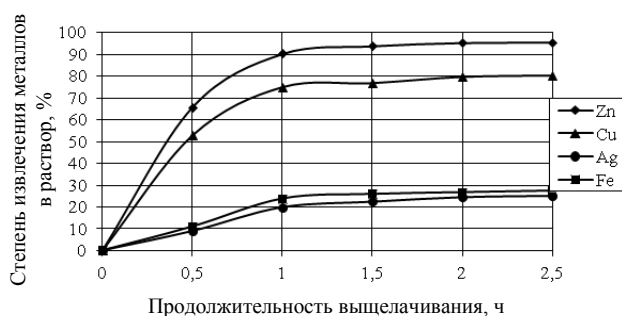


Рис. 2. Зависимость степени извлечения металлов в раствор от продолжительности выщелачивания

Увеличение продолжительности контакта сернокислотного раствора и огарка может привести к повышению содержания примесей в растворе. При выщелачивании огарка с серной кислотой в первую очередь реагируют окисленные минералы цинка и меди. Минералы железа и серебра взаимодействуют с серной кислотой медленно. Поэтому для того, чтобы достичь максимального извлечения цинка при минимальном переходе в раствор примесей, продолжительность выщелачивания можно выбирать 1 ч.

Скорость подавляющего большинства химиче-

ских реакций, а также диффузия с ростом температуры увеличиваются. С повышением температуры наблюдается достаточно медленный рост концентрации цинка в раствор. Однако, начиная с 40⁰С, при увеличении продолжительности процесса происходит более интенсивный прирост степени извлечения цинка и меди. Это объясняется тем, что при повышенных температурах быстрее образуется ZnSO₄. Следует ожидать, что с повышением температуры в дальнейшем скорость растворения будет возрастать. Но вместе с тем надо учитывать, что повышение температуры незначительно сказывается на растворении полезного компонента (цинка), тогда как переход в раствор примесей при этом сильно возрастает. Повышение температуры более 80⁰С незначительно влияет на выщелачивание цинка, но сильно увеличивает переход в раствор примесей. Необходимый гидродинамический режим для достижения однородной плотности пульпы обеспечивают с помощью механического перемешивающего устройства.

Таким образом, были установлены следующие оптимальные условия выщелачивания термодорожков цинкового кека: концентрация серной кислоты 125-150 г/л, температура 75-80⁰С, продолжительность 1 ч. В этих условиях степень извлечения цинка в раствор составляет 85-95 % и железа 28,1 %, а выход кека 58-60% от веса огарка. Остаток после выщелачивания является источником для получения благородных металлов и их можно извлекать обычным способом (цианированием). Результаты исследования свидетельствуют о возможности эффективной переработки цинковых кеков термодорожкой с последующим сернокислотным выщелачиванием.

Список литературы

1. Снурников А.П. Гидрометаллургия цинка. М.: Металлургия, 1981. 384 с.
2. Кляйн С.Э., Козлов П.А., Набойченко С.С. Извлечение цинка из рудного сырья. Екатеринбург: УГГУ-УПИ, 2009. 492 с.
3. Пискунов В.И., Ярославцев А.С., Ковыршин В.Г. и др. // Цветная металлургия. 1972. № 1. С. 35.
4. Лакерник М.М., Пахомова Г.Н. Металлургия цинка и кадмия. М.: Металлургия, 1969. 485 с.: ил.
5. Лайкин А.Я. Опыт применения кислорода в металлургических процессах на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате им. В. И. Ленина. М.: Цветметинформация, 1963. С. 38.
6. Сыроешкин М.В., Юмакаев Ш.И., Переработка вельц-окислов, шлаковозгонов и свинцовых пылей на свинцово-цинковых заводах. М.: Металлургия, 1971. 88 с.: ил.

Сведения об авторах

Нишонов Бобомурод Урнибоевич – ассистент кафедры «Металлургия и химическая технология» Алмалыкского горно-металлургического факультета, Навоийский государственный горный институт (НГИИ), Узбекистан. Тел.: +99894 4288766. E-mail: nbuuzb1987@gmail.com

Ахтамов Фозил Эркинович – ст. науч. сотрудник-исследователь кафедры «Металлургия и химическая технология» Алмалыкского горно-металлургического факультета, Навоийский государственный горный институт (НГИИ), Узбекистан. Тел.: +99890 7312360. E-mail: AFE82@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT PROCESSING OF ZINC CAKE

Nishonov Bobomurod Urinboyevich – Teacher Assistant, Almalic Mining Metallurgical Faculty, Navoi State Mining Institute, Uzbekistan.

Axtemov Fozil Erkinovich – Assistant Professor, Almalic Mining Metallurgical Faculty, Navoi State Mining Institute, Uzbekistan.

Abstract. *The article describes the technology for processing of zinc cake and given the shortcomings of existing technology. The results of the study heat treatment and sulfuric acid leaching process heat treatment product which is intended to additional recovery of zinc and a number of non-ferrous metals. Considered various schemes heat treatment leaching of zinc cake. The influence of various factors (temperature, acid concentration, the duration of leaching, the pulp density, etc.) on the degree of extraction of metals in the solution found optimal conditions for the meeting.*

Keywords: *cake, roasting, minerals, ferrite, leaching sulfuric acid solution, sulfide, waelz process, recovery, heat treatment.*



ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 502.55 (504.056)

Свиридова Т.В., Боброва О.Б.

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ПОЧВЕ

Аннотация. Проанализировано содержание тяжелых металлов в почвах и в надземных частях растений по удалению от источника загрязнения г. Магнитогорска и его окрестностей. Выявлено, что основными элементами, загрязняющими окружающую среду, являются цинк, свинец и медь. Получены уравнения, моделирующие зависимости между содержанием рассматриваемых микроэлементов в растениях от их концентрации в почве.

Ключевые слова: тяжелые металлы, отходы, миграция элементов, загрязнение окружающей среды

Большое количество накопленных отходов металлургической промышленности привело не только к загрязнению техногенными примесями атмосферного воздуха, но и вызвало накопление поллютантов в почве. При этом она выступает не только в качестве аккумулятора загрязняющих веществ, но и исходного звена в миграции токсикантов по наземным трофическим цепям и обладает трансформирующими свойствами по отношению ко многим загрязнителям, а также служит индикатором экологической обстановки территории [1].

В работе в качестве источника загрязнения (ИЗ) был рассмотрен шлаковый отвал III очереди, который расположен в северной части города, на левобережном склоне долины р. Урал. По данным комплексного доклада в отвале содержалось 36,3 млн т металлургических шлаков [2].

Объектами исследования являлись почвы, наземная часть травянистой растительности (полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L.).

Образцы почв отбирали в соответствии с общепринятыми требованиями (ГОСТ 17.4.3.01-83, 17.4.4.02-84, 28168-89) на расстоянии 200; 500; 1500 и 5000 м от источника загрязнения. Отбор проб укусов растений проводили по ГОСТ 27262-87 на приведенных выше расстояниях.

Большая часть металлов сосредоточена в твердой фазе почвы, а меньшая – в подвижной фракции, доступной растениям. Для построения зависимостей содержания микроэлементов в растениях от их концентрации в почве нами была рассмотрена подвижная форма ТМ.

Характер загрязнения почв ТМ, прилегающих к рассматриваемому ИЗ, оценивали сравнением фактических результатов исследования (табл. 1) с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями.

Максимальное содержание подвижных соединений всех изученных ТМ было обнаружено у ИЗ. Уровень подвижных форм составлял: Cu – 1,8–5,7 ПДК, Zn – 1,2–2,6 ПДК, Pb – 2,9–3,5 ПДК, Mn – 1,5–3,9 ПДК. Содержание остальных металлов не превышало допусти-

мой нормы. По степени подвижности металлы формировали следующий ряд: Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Cd.

Корреляционный анализ выявил сильную прямую связь между содержанием подвижных форм Cu и Zn ($r = 0,93$), Cu и Mn ($r = 0,93$), Cu и Pb ($r = 0,86$), Cu и Cd ($r = 0,81$), Zn и Mn ($r = 0,98$), Zn и Pb ($r = 0,76$), Zn и Cd ($r = 0,70$) Mn и Pb ($r = 0,71$) Mn и Cd ($r = 0,65$) Pb и Cd ($r = 0,82$).

Различные виды растений обладают различной способностью к накоплению ТМ даже при произрастании в одинаковых условиях. Установлено, что в зависимости от значений коэффициента биологического накопления растения распределяются на энергичных накопителей и слабых захватчиков тяжелых металлов.

Из семейств и видов растений, произрастающих на удалении от шлакоперерабатывающей установки, была изучена полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L., представленная во всех районах отбора проб. Кроме того, она является элементом сильного накопления таких металлов, как Cu, Zn, Pb, Mn, Ni [3].

Увидели, что наиболее высокие концентрации ТМ в сухой массе *Artemisia vulgaris* L. характерны для Mn и Zn (табл. 2), что говорит о важной роли этих элементов в физиологических процессах в растениях. Содержание Cu и Pb варьируется в интервале от 1,2 до 14,7 мг/кг, Ni – до 1,3 мг/кг, а Cd аккумулируется *Artemisia vulgaris* L. незначительно, до 0,3 мг/кг, что согласуется с литературными данными [4–6].

Установлена положительная корреляционная зависимость между содержанием Cu в *Artemisia vulgaris* L. и количеством в почвогрунте подвижных форм: Cu ($r = 0,71$), Zn ($r = 0,73$), Pb ($r = 0,87$), Mn ($r = 0,68$).

По нашим данным на содержание Zn в растении влияет подвижные соединения в почвогрунте Zn ($r = 0,78$), Cu ($r = 0,70$), Pb ($r = 0,63$) и Mn ($r = 0,77$).

Данные корреляционного анализа показали, что существуют достаточно сильные корреляционные связи между Pb в *Artemisia vulgaris* L. и подвижными соединениями в почвогрунте Cu ($r = 0,92$), Zn ($r = 0,79$), Pb ($r = 0,94$), Cd ($r = 0,73$) и Mn ($r = 0,76$).

Содержание тяжелых металлов в почве (подвижная форма)

Место отбора, м от ИЗ	Содержание элементов, мг/кг					
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Cd
200	16,0±1,0	56,9±1,9	20,6±0,6	525,0±20,0	0,3±0,02	0,3±0,03
500	12,5±0,5	27,0±5,0	17,8±0,3	196,9±6,9	0,5±0,05	0,3±0,03
1500	9,8±0,3	26,6±1,6	20,4±0,4	144,9±4,9	0,3±0,01	0,3±0,0002
5000	5,6±0,4	14,5±0,5	9,6±1,6	53,4±1,6	0,2±0,03	0,2±0,0002
40000	4,4±0,4	11,1±0,9	3,4±0,4	41,1±1,1	0,2±0,02	0,2±0,0002

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в пылине обыкновенной

Место отбора, м от ИЗ	Содержание элементов, мг/кг					
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Cd
200	13,7±1,1	42,2±22,1	7,5±0,7	186,8±71,6	1,4±0,1	0,3±0,03
500	9,6±0,2	19,0±1,6	7,1±0,3	140,8±75,0	1,0±0,01	0,2±0,02
1500	13,5±0,7	32,3±2,7	6,3±0,2	55,0±11,8	1,0±0,01	0,02±0,002
5000	7,8±2,4	13,7±1,7	4,2±0,1	27,2±6,7	1,35±0,07	0,01±0,0005
40000	10,1±0,3	18,9±3,7	1,2±0,1	16,0±3,4	1,35±0,04	0,012±0,001

Установлена положительная корреляционная связь между содержанием Cd в *Artemisia vulgaris* L. и количеством в почвогрунте подвижных форм: Cu ($r = 0,90$), Zn ($r = 0,82$), Cd ($r = 0,71$), Mn ($r = 0,87$).

По нашим данным на содержание Mn в растении влияет подвижные соединения в почвогрунте Cu ($r = 0,75$) и Mn ($r = 0,69$).

Данные корреляционного анализа показали, что существуют достаточно сильные корреляционные связи между Ni в *Artemisia vulgaris* L. и подвижными соединениями в почвогрунте Cu ($r = 0,77$), Zn ($r = 0,75$), Pb ($r = 0,92$) и Mn ($r = 0,68$).

Для оценки зависимости содержания рассмотренных ТМ в растениях от их концентрации в почве использовали метод регрессии. В результате статистической обработки мониторинговых данных по концентрации микроэлементов в растениях от их концентрации в почве получены уравнения, моделирующие зависимость между содержанием рассматриваемых микроэлементов:

$$\text{Cd: } y = 0,9637\ln(x) + 1,5525$$

$$\text{Cu: } y = 5,0051\ln(x) - 0,1767$$

$$\text{Mn: } y = 99,319\ln(x) - 366,18$$

$$\text{Zn: } y = 27,258\ln(x) - 54,487$$

$$\text{Pb: } y = 4,6352\ln(x) - 6,3162$$

$$\text{Ni: } y = -0,314\ln(x) + 1,138$$

Полученные по результатам проведенного анализа экспериментальных данных зависимости позволяют проводить ориентировочную оценку содержания рассмотренных ТМ в растениях от их концентрации в почве. Также по полученным результатам можно оценивать экологическую обстановку территории и исследовать миграцию токсикантов по наземным тро-

фическим цепям.

Однако полученные результаты проведенных экспериментов являются промежуточными. В дальнейших исследованиях содержания ТМ в растениях от их концентрации в почве планируется учесть фактор времени. Именно влияние временного фактора является основным для оценки накопления ТМ в растениях.

Список литературы

1. Попова Л.Ф., Наквасина Е.Н. Интенсивность наполнения и перераспределения тяжелых металлов в компонентах почвенно-растительного покрова различных функциональных зон г. Архангельска // Экология и промышленность России. 2013. № 1. С. 47–51.
2. Экологическое состояние природных и техногенных объектов Зауралья / Янтурин С.И., Волкова Е.А., Свиридова Т.В., Боброва О.Б. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 9. С. 92–95.
3. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский университет, 1998. 131 с.
4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
5. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
6. Прошкина О.Б., Шебзухова Л.Г., Чернякова Д.А. Содержание тяжелых металлов в растениях зоны объектов размещения отходов // Теория и технология металлургического производства. Вып. 11: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. С. 161–165.

Сведения об авторах

Свиридова Татьяна Валерьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: ntv_3110@mail.ru

Боброва Ольга Борисовна – ст. преп. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: obproshkina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ACCORDING MICRONUTRIENT CONTENT IN PLANTS ON THEIR CONCENTRATION IN THE SOIL

Sviridova Tatyana Valeryevna – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ntv_3110@mail.ru

Bobrova Olga Borisovna – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: obproshkina@mail.ru

***Abstract.** The heavy metal content was determined in soils and above ground parts of the plant on removal from the source pollution of Magnitogorsk and its environs. It was found that the main elements of the environmental pollutants are Zn, Pb and Cu. The equations that model the relationships between the content of trace elements in plants considered on their concentration in the soil.*

***Keywords:** heavy metals, waste, migration of elements, environment pollution.*



ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 669.1

Белоусов В.В., Иванова Т.А., Трофимова В.Ш.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЫНКА ЛОМА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ В РФ

Аннотация. В статье приводится статистика, характеризующая современное состояние рынка лома черных металлов в РФ и тенденции его развития: динамика потребления лома черных металлов в РФ в целом и отдельно несколькими крупными металлургическими заводами в сопоставлении с динамикой объемов производства стали; объем экспорта из РФ и внутреннего потребления в РФ лома черных металлов; объемы перевозки ж/д транспортом лома черных металлов из федеральных округов РФ; объемы перевозки ж/д транспортом лома черных металлов в федеральные округа РФ; баланс потребления лома черных металлов в федеральных округах РФ с 2010 по 2014 год; структура поставок лома по тарифным расстояниям для основных предприятий потребителей лома за 2014 год, по данным о перевозках лома железнодорожным транспортом. Обширный статистический материал, собранный авторами, иллюстрируется многочисленными рисунками и графиками.

Ключевые слова: металлолом, лом черных металлов, рынок лома, ломозаготовители, ломопотребители, объемы перевозок лома, баланс лома в регионе.

На сегодняшний день в условиях модернизации и технического переоснащения металлургического производства лом черных металлов является важнейшим металлургическим сырьем.

В соответствии с изменяющимися объемами выплавки стали изменяется и спрос на сырьё, необходимое для её производства, прежде всего металлическую шихту, одним из главных компонентов которой является металлолом (рис. 1). С 2011 (20 млн т) до 2013 года (19,5 млн т) наблюдается снижение объемов потребления привозного (или закупаемого на рынке) лома (без учета оборотного лома металлургических предприятий), что можно связать с некоторым спадом производства. Увеличение закупа лома в 2014 году (20,6 млн т) соотносится с благоприятной ценовой ситуацией на рынке продукции металлургической отрасли и соответствующим ростом производства, в частности, ММК увеличил производство стали в 2014 году на 9,1% к 2013 г.



Рис. 1. Динамика объемов производства стали и потребления лома в РФ за 2002-2014 гг., млн т

Изменение объема выплавки стали и соответственно спроса на металлолом определяется многими

факторами: спросом на готовую стальную продукцию; структурой сталеплавильного производства, в частности переходом с мартеновского производства стали на кислородно-конвертерное и электросталеплавильное; вводом новых производственных мощностей; объемом загрузки сталеплавильных мощностей; долей оборотного лома в потребности крупных предприятий; соотношением цен на железорудное сырьё и на лом; конъюнктурой мирового рынка лома. Металлурги сталкиваются со многими проблемами при использовании лома черных металлов. Проблемы касаются нескольких аспектов, как экономических – цена закупаемого лома, стоимость доставки лома, география закупа лома, так и технических – качество закупаемого лома, его переработка.

Лидерами по потреблению лома в РФ по данным 2014 года (рис. 2) являются Магнитогорский МК (потребление лома в 2014 году составляет, по данным Металл-Курьера, 12% от потребления лома в целом по РФ), Северсталь (10%), Нижнесергинский ММЗ (9%), Западно-Сибирский МК (6,1%), Новолипецкий МК (5%).

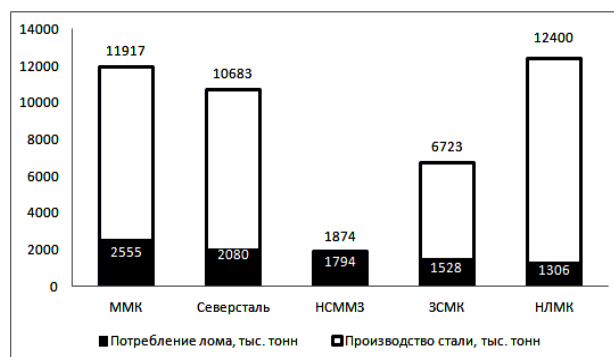


Рис. 2. Объемы потребления лома и производства стали крупнейшими металлургическими предприятиями РФ за 2014 г., тыс. т

По производству стали ММК занимает 2 место среди предприятий РФ (производя 17% от российского объема производства стали), Северсталь – 3 место (15%), НСММЗ - 8 место (3%), ЗСМК – 4 место (10%), НЛМК – 1 место (18%) (рис. 2).

Динамика объема потребления лома черных металлов крупными металлургическими заводами за 2010-2014 гг. отражена на рис. 3. Как видно из графика, динамика потребления лома предприятиями разнонаправлена. Так, объемы закупа лома ММК изменяются в соответствии с общероссийской динамикой производства стали (рис. 1), в то время как у Северстали объемы закупа снижаются – это связано с изменением структуры шихты конвертерной и электросталеплавильной плавок для целей ее удешевления. Так, в 2014 г. Северсталь увеличила использование жидкого чугуна при шихтовке конверторов на 30 кг/т и на 70 кг/т в электросталеплавильном производстве – соответственно потребление лома снизилось.

В перспективе по прогнозам экспертов ожидается снижение ломосбора, причем это будет происходить на фоне запуска новых металлургических мощностей. По данным «Металл Курьер», в 2013–2020 годах в России предполагается ввести 8,3 млн т новых мощностей. И почти 95% потребности в сырье для заявленных мощностей предполагается покрывать за счет лома. Уже заработали в Калужской, Тюменской и Саратовской областях новые электрометаллургические заводы НЛМК-Калуга и УГМК, Северсталь-Балаково. В 2017 году Чусовской металлургический завод (Пермский край) собирается запустить печь на 0,9 млн т в год.

Одна из проблем главного участника рынка лома – ломопотребителя, состоит в определении географии закупа лома с целью минимизации транспортной составляющей в цене лома. В разные годы (с 2010 по 2014 гг.) от 60 до 80% всего лома доставляется потребителю железнодорожным транспортом, оставшаяся доля поставок приходится на перевозку автотранспортом и водным. Тенденция последних лет, связанная с удорожанием тарифов на ж/д перевозки, – рост доли поставок лома автотранспортом.

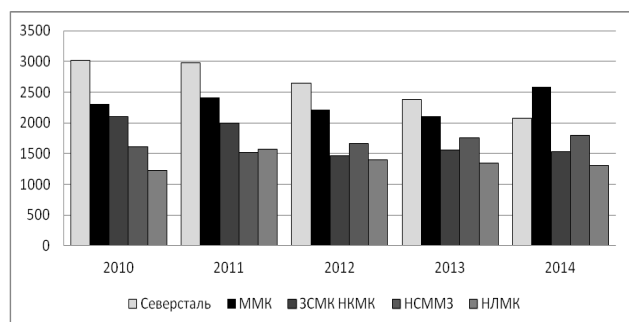


Рис. 3. Фактический объем закупки лома крупными металлургическими предприятиями за 2010-2014 гг. по данным Металл-Курьера, тыс т

Структуру рынка лома можно представить в виде взаимосвязи трех важнейших участников рынка: ломосдатчиков, ломопереработчиков и потребителей лома.

Ломосдатчики — это юридические лица, у которых металлолом образуется в виде отходов их основного производства либо при списании основных средств и/или утилизации зданий, сооружений, и/или физические лица, у которых металлолом образуется в результате их жизнедеятельности.

Ломопереработчики – это юридические лица или индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность по сбору, хранению, переработке и реализации металлолома на основании лицензии. Ломопереработчиков можно условно разделить на предприятия, имеющие одну или несколько площадок, на которых осуществляется полный цикл переработки (сортировка, дробление, резка, прессование и пр.) металлолома с использованием специализированного оборудования и механизмов, и на ломопереработчиков – организации, которые осуществляют реализацию металлолома без его хранения и переработки на площадках (транзитные организации).

Замыкают эту цепочку потребители лома — металлургические комбинаты и заводы, которые используют металлолом как сырье для производства изделий из металла и осуществляют приемку, складирование, хранение и подготовку лома для дальнейшего использования в сталеплавильном процессе.

По данным перевозок лома ж/д транспортом (подробная статистика об объемах и географии закупа лома, поставляемого авто- и водным транспортом по потребителям, отсутствует) в РФ за 2014 год действовало 1534 предприятий – грузоотправителей металлолома, при этом 80% объема отгрузки лома ЖД транспортом приходилось на 264 предприятия (17%).

Крупнейший регион – ломозаготовитель – это Центральный ФО, 28 % от всего объема перевозимого лома, затем Приволжский ФО – 25%, Сибирский ФО – 19%, Уральский ФО – 18%. На остальные ФО суммарно приходится 10 % всего отгружаемого лома (рис. 4).

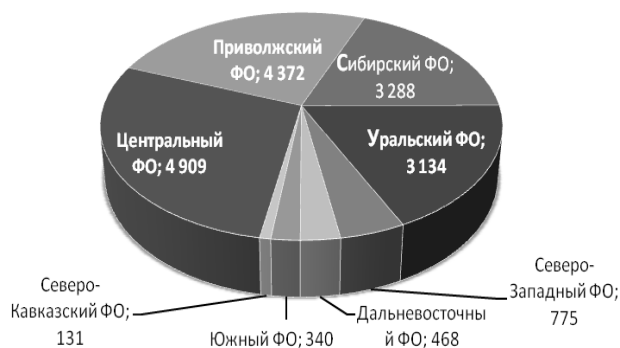


Рис. 4. Объемы ломозаготовки по федеральным округам по данным РЖД о перевозках лома ж/д транспортом в 2014 году, тыс т

Надо отметить, что треть всего объема перевозимого лома отгружается из Москвы и Московской обл., республики Татарстан, Свердловской и Челябинской областей, т.е. это регионы – лидеры по отгрузке лома.

По данным перевозок лома ж/д транспортом, крупнейший регион – ломопотребитель – это Уральский ФО, 37 % от всего объема отгружаемого по ЖД лома, затем Центральный ФО – 21%, Северо-Западный, Сибирский и Южный ФО – по 9-10%. На остальные ФО суммарно приходится 13 % всего отгружаемого лома (рис. 5).

Причем 60% всего потребляемого лома приходится на крупные металлургические заводы Свердловской, Челябинской, Кемеровской, Вологодской и Липецкой областей, т.е. это регионы – лидеры ломопотребления.

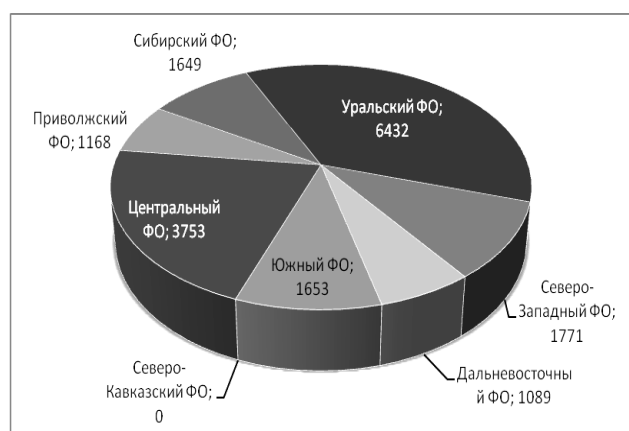


Рис. 5. Объемы потребления лома черных металлов по федеральным округам РФ по данным РЖД о перевозках лома ж/д транспортом в 2014 году, тыс. т

Учитывая структуру и объем поставок лома в каждом федеральном округе, можно посчитать баланс лома региона, как разность между ломопотреблением региона и ломообразованием в регионе (рис. 6). Традиционно дефицитными регионами, испытывающими нехватку лома являются Уральский, Северо-Западный, Южный и Дальневосточный ФО. Профицитные регионы, с положительным балансом лома, – Приволжский, Центральный, Сибирский и Северо-Кавказский округа.

С 2010 по 2014 год наблюдается снижение ломозаготовки в Центральном ФО при примерно неизменном уровне потребления, поэтому профицит региона уменьшается. С выходом на проектную мощность завода НЛМК – Калуга профицит ЦФО станет минимальным, а в будущем регион может стать дефицитным. В Северо-Западном регионе наблюдается уменьшение дефицита, связанное с существенным снижением уровня потребления лома Северсталью.

В целом по стране баланс лома положителен, т.е. существует некоторый избыток лома, что позволяет считать российский рынок лома экспортноориентиро-

ванным (рис. 7). Странами-импортерами российского металлолома являются Турция (объем экспорта, по данным Металл-Эксперта, в 2014 году составил 39% от всего экспортируемого лома), Беларусь (23%), Республика Корея (13%), Испания (12%), Греция, Китай, Тайвань, Молдова, Италия. Одновременно в Россию импортируется лом из Казахстана. По данным о железнодорожных перевозках, общий объем лома из Казахстана в 2014 году составил около 78 тыс. т.

По прогнозам аналитиков, при сокращении ломосбора условный дефицит сырья в стране к 2020 году может приблизиться к 10 млн т [8]. Необходимо учитывать наличие металлофонда в РФ, накопленного в прошлые годы, но не привлеченного в металлопереработку. В последние годы отмечается высокий уровень металлопотребления в РФ, что создает задел к нормализации баланса рынка лома в РФ в долгосрочной перспективе.

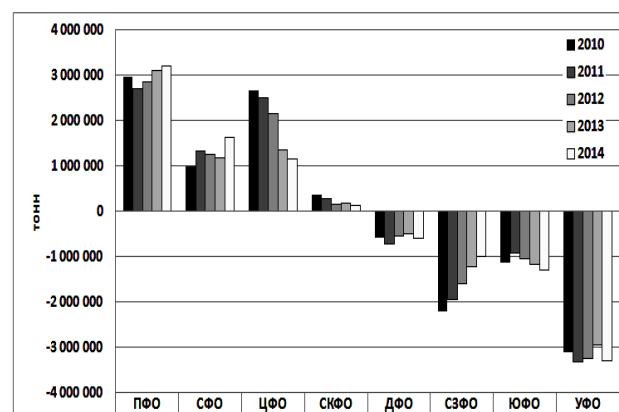


Рис. 6. Баланс потребления лома черных металлов в федеральных округах РФ с 2010 по 2014 год, т

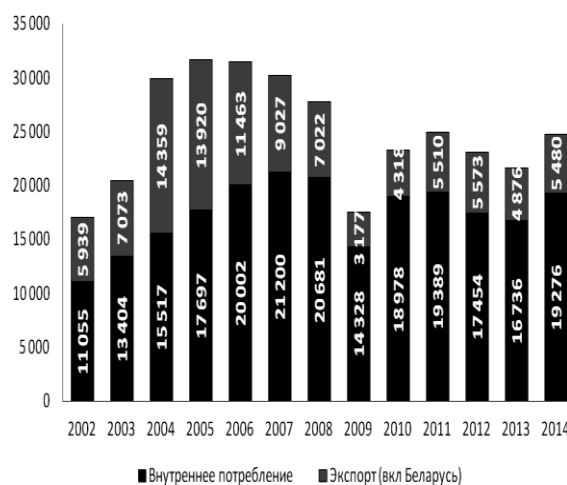


Рис. 7. Объем экспорта из РФ и внутреннего потребления в РФ лома черных металлов, тыс. т

Различия в географическом расположении металлургических предприятий – потребителей лома, соотношения спроса и предложения на лом в «до-

машнем» и соседних регионах, в удаленности от регионов основного ломосбора влияют на радиус поставки металлолома (рис. 8). В 2014 году среднее тарифное расстояние поставки лома для ММК составляло 1403 руб. на тонну, для НСММЗ – 969 руб. на тонну, для Северстали – 1061 руб. на тонну, для НЛМК – 892 руб. на тонну, для ЗСМК – 1048 руб. на тонну.

Причем динамика показателя дальности перевозок для ОАО «ММК» в условиях растущей конкуренции за сырье неутешительна. Так, еще в 2005 году среднее расстояние поставки лома на ММК составляло 912 км, а в 2008 году увеличилось до 1 310 км. В 2014 году среднее расстояние поставки лома на ММК составляет примерно 1252 км.

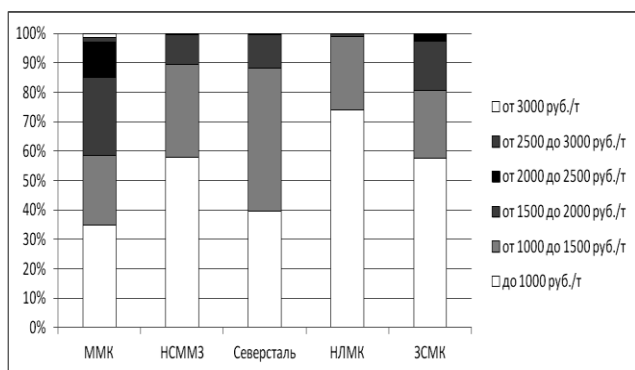


Рис. 8. Структура поставок лома по тарифным расстояниям для основных предприятий потребителей лома за 2014 год, по данным о перевозках лома железнодорожным транспортом

Сведения об авторах

Белусов Владислав Владимирович – ст. менеджер по анализу рынков сбыта продукции ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия. E-mail: belousov.vv@mmk.ru

Иванова Татьяна Александровна – канд. экон. наук, доц., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: jun275@mail.ru

Трофимова Виолетта Шамильевна – канд. экон. наук, доц., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: violat@mail.ru

В условиях повышающейся конкуренции за объемы лома черных металлов и повышающихся тарифов на железнодорожные перевозки, для ломопотребителя, особенно такого крупного, как ОАО «ММК», становится принципиально важным поиск оптимального способа организации закупок лома черных металлов. Главный компонент успеха в решении данного вопроса – понимание металлургическими предприятиями своей оптимальной структуры закупа лома в географически приближенных регионах РФ, правильное размещение своих дочерних предприятий по запуску металлолома и соответственно грамотная ценовая политика предприятия относительно цены закупаемого лома в каждом регионе. Эти меры в совокупности позволят снизить расходы на закуп лома и соответственно расходы на сырье в себестоимости стали.

Список литературы

1. Металл Эксперт Консалтинг. URL: <http://metalexpertresearch.ru/>
2. Информационное Агентство «Металл-Курьер». URL: <http://www.metalcourier.ru/>
3. ГосКомСтат РФ. URL: <http://gks.ru>
4. База перевозок РЖД.
5. Крюкова Е.М. Применение методов организационно-экономического прогнозирования в отрасли лома черных металлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т.74. №7. С. 67-72.
6. Сайт ОАО ММК. URL: <http://mmk.ru>
7. Сайт ЗАО Профит. URL: <http://www.profit.ru>
8. Маринович А., Пыжьянова В. Не заржавело // Эксперт Урал. 2014. №15 (596).

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE REVIEW OF THE MARKET OF SCRAP METAL IN RUSSIA

Belousov Vladislav Vladimirovich – Manager analysis of sales markets, Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC, Magnitogorsk, Russia, E-mail: belousov.vv@mmk.ru

Ivanova Tat'yana Aleksandrovna – Ph.D. (Economics), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, E-mail: jun275@mail.ru

Trofimova Violetta Shamil'evna – Ph.D. (Economics), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, E-mail: violat@mail.ru

Abstracts. The article presents statistics describing the current state of the market of ferrous metals in Russia and tendencies in its development: dynamics of consumption of ferrous scrap in Russia in whole and separately by several major metallurgical plants in comparison with the dynamics of steel production; the volume of exports from Russia and domestic consumption in the Russian

Federation of ferrous scrap; planned and actual volumes of purchase of scrap 24 large metallurgical plants in Russia; the volume of transportations by railway transportation of ferrous metals by Federal districts of the Russian Federation; the volume of transportations by railway transportation of scrap in Federal district of the Russian Federation; the balance of consumption of ferrous scrap in the Federal districts of the Russian Federation from 2010 to 2014; the structure of supply of scrap tariff distances for the main enterprise-consumers of scrap in 2014, according to data on the transportation of scrap rail. Extensive statistical material collected by the authors is illustrated by numerous drawings and charts.

Keywords: *scrap metal, market of scrap metal, the traffic volumes of scrap, the balance of scrap in the region.*



ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала **«Теория и технология металлургического производства»** (**«Teoriâ i tehnologiâ metallurgiĉeskogo proizvodstva»**) (Аббревиатура: **Teor. tehnol. metall. proizv.**) Периодичность издания – дважды 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. Обогащение и подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу.
2. Металлургия чугуна.
3. Металлургия стали.
4. Электрометаллургия и производство ферросплавов.
5. Литейное производство.
6. Обработка металлов давлением.
7. Металлургическая теплотехника.
8. Металловедение и термическая обработка металлов.
9. Экология и охрана окружающей среды.
10. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии.

Для публикации статьи в журнале необходимо **до 10 апреля 2016 года** представить **следующие материалы:**

- распечатанный чистовой оригинал статьи (4-8 полных страниц текста формата А4) (ауд. 155, Макаровой И.В.);
- электронную версию статьи на CD-диске или выслать электронной почтой на e-mail: m.irina1976@mail.ru;
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи.

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 (210x297 мм), распечатка также делается на бумаге формата А4; отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
 - шрифт основного текста – Arial 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, аннотация, ключевые слова, текст, литературу, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в **Приложении 1**.
 - аннотация (*Abstracts*) (150-250 слов), выполняется *курсивом* (аннотация должна быть выстроена по принципу автореферата диссертации или просто логически выстроенной);
 - ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется *курсивом*;
 - список литературы (*References*) 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, аннотации, ключевых слов, литературы, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи!!!! Перевод должен быть выполнен профессионально, не через электронного переводчика!!!**
- Редакционная коллегия оставляет за собой право исправлять ошибки без согласования с авторами.

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:**

Приложение 2

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., Монастырсков 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 tehniceskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 24-26.

Ответственный по изданию журнала: доцент кафедры МЧМ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова» Макарова И.В.

По всем вопросам обращаться по тел. 8(3519)298430, либо по e-mail: m.irina1976@mail.ru.