

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 1 (24) 2018

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

Редакционный совет

Председатель ред. совета:

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

Члены ред. совета:

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

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

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

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

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

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

Райле Виктор – кандидат технических наук,
Германия

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

Главный редактор:

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

Научный редактор:

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

Технический редактор:

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

У.И. Лужбина

Дизайнер:

Е.О. Харченко

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2018

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

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-84-64.

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

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

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

Выход в свет: Заказ. Тираж 500 экз.
Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 1 (24) 2018

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

Editorial Board Members

Chairman:

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

Honorary Board Members:

K.N. Vdovin – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University
V.M. Kolokoltsev – D. Sc., Professor,
President of Nosov Magnitogorsk State Technical
University
K.K. Kaskin – Ph.D., Professor,
Aktjubinsk State University, Kazakhstan
Z. Konopka – D.Sc., Professor,
Czestochowa University of Technology,
Poland

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

Raile Wiktor – Bloom engineering (Europa),
GMBH

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

Editor-in-Chief:

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

Scientific Editor:

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

Technical Editor:

Y.A. Izvekov – Professor, Ph.D., Nosov Magnito-
gorsk State Technical University
U.I. Luzhbina

Designer:

E.O. Harchenko

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

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region.)
16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

Editorial office:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 29-84-64.
E-mail: TTaPEoMP@mail.ru ; ttmp@mail.ru
Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

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

СОДЕРЖАНИЕ

Селиванов В.Н. ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА А.М. БИГЕЕВА	4
ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ	9
Петухов В.Н., Батяев Я.С., Петухова О.И., Карсакова Л.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУППОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕАГЕНТОВ - ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ	9
МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ	14
Столяров А.М., Мошкунев В.В., Потапова М.В., Мурапталова Р.Р. ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ	14
Бурмасов С.П., Гудов А.Г., Смирнов Л.А. СТРУКТУРНЫЕ СОСТОЯНИЯ РАСПЛАВА ЖЕЛЕЗА И ЕГО РАСТВОРОВ С ВАНАДИЕМ, КРЕМНИЕМ И УГЛЕРОДОМ	21
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	28
Никитенко О.А., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТИРОВАННОГО ФЕРРОВАНАДИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА	28
ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ	34
Вдовин К.Н., Смирнов А.Н., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛОМА МАГНЕЗИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ПРОТИВОПРИГАРНОЙ КРАСКИ ДЛЯ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА	34
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИИ	38
Агапитов Е.Б. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ	38

CONTENTS

Selivanov V.N. THE CREATIVE HERITAGE OF PROFESSOR A.M. BIGEEV	4
PREPARATION OF RAW MATERIALS TO THE METALLURGICAL FRONT	9
Petukhov V.N., Batyaev Y.S., Petukhova O.I., Karsakova L.S. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GROUP CHEMICAL COMPOSITION OF FOAMING REAGENTS ON THE INDICATORS OF COAL FLOTATION	9
STEELMAKING	14
Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V., Muraptalova R.R. STUDY OF NON METALLIC INCLUSIONS POLLUTION IN COCAST SORTED BILLET	14
Burmasov S.P., Gudov A.G., Smirnov L.A. STRUCTURAL STATES OF IRON MELT AND ITS SOLUTIONS WITH VANADIUM, SILICON AND CARBON	21
MATERIAL SCIENCE AND THERMAL TREATMENT OF METALS AND ALLOYS	28
Nikitenko O.A., Feoktistov N.A., Gorlenko D.A. STUDY OF THE INFLUENCE OF NITRATED FERROVANADIUM ON THE PARAMETERS OF MICROSTRUCTURE CASTINGS OF HADFIELD STEEL	28
ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN METALLURGY	34
Vdovin K.N., Smirnov A.N., Pivovarova K.G., Ponamareva T.B. THE STUDY OF THE PROPERTIES OF MAGNESITE REFRACTORY AS A FILLER OF ANTIBURNING-ON PAINT FOR HADFIELD STEEL	34
COMMON ISSUES OF METALLURGY	38
Agapitov E.B. PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF PLASMA STEEL-FUEL OVENS	38

УДК 669:378

Селиванов В.Н.

ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА А.М. БИГЕЕВА

***Аннотация.** В декабре 2017 г. исполнилось 100 лет со дня рождения профессора Бигеева А.М., внесшего большой вклад в развитие отечественной металлургической науки и высшего образования. Он создатель особой научной и педагогической школы, в основе которой лежит совершенствование металлургических технологий и подготовка специалистов на базе комплексного и полного математического описания технологических процессов. Им и его учениками и последователями подготовлен большой отряд специалистов-сталеплавателей для металлургических предприятий Уральского региона.*

***Ключевые слова:** профессор Бигеев А.М., творческая деятельность, процессы выплавки стали, математическое описание, непрерывные металлургические процессы.*

Абдрашит Мусеевич Бигеев - известный педагог и ученый в области металлургии, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, ветеран Великой Отечественной войны, почетный гражданин г. Магнитогорска, кавалер орденов Отечественной войны первой и второй степени, Красной звезды, Трудового Красного Знамени и многих медалей.

А.М. Бигеев приехал в Магнитогорск в 1935 г. из небольшого сибирского села. Начал работать на строительстве города, окончил рабфак и поступил в недавно организованный горно-металлургический институт, по окончании которого в 1941 г. он начинает работать мастером мартеновского цеха Магнитогорского металлургического комбината. В 1942 г. ушел добровольцем на фронт, а в 1946г. после демобилизации из рядов Советской Армии поступил на кафедру металлургии стали Магнитогорского горно-металлургического института (МГМИ, а позже МГМИ им. Г.И. Носова), где прошел путь от ассистента до профессора и которой руководил в течение более тридцати лет. А.М. Бигеев был деканом металлургического факультета, проректором по научной работе, секретарем парткома института.

Под руководством А.М. Бигеева кафедра металлургии стали подготовила более тысячи инженеров. Инженерный корпус сталеплавильного производства ОАО «ММК» в основном состоит из учеников Абдрашита Мусеевича. Среди его учеников известные специалисты и руководители отечественной металлургии - И.Х. Романов, В.С. Федосеев, К.Г. Носов, С.К. Носов и многие другие. За долгую научную карьеру он подготовил почти шестьдесят специалистов высшей квалификации – докторов и кандидатов наук.

А.М. Бигеев – автор 11 книг, в том числе учебников для вузов, более 300 научных статей и докладов, 30 авторских свидетельств и патентов. Перу А.М. Бигеева принадлежат фундаментальные научные работы по математическому описанию сталеплавильных процессов, разработке теории и технологии непрерывных сталеплавильных процессов, научному обоснованию принципиально новых ресурсосберегающих технологий получения черных металлов. Он создал собственную научную школу, получившую заслуженное признание в отечественной металлургической науке.

Творческий метод профессора А.М. Бигеева исходит из признания неразрывного единства триады жизни высшей школы:

- учебный процесс;
- совместная научная деятельность преподавателей, научных сотрудников и студентов;
- решение актуальных задач отечественной металлургической промышленности.

Таких взглядов на организацию деятельности возглавляемой им в течение многих лет кафедры металлургии стали МГМИ профессор Бигеев А.М. придерживался в течение всей своей жизни. На их основе он формировал профессорско-преподавательский коллектив своей кафедры, активно привлекая к её деятельности студенческую молодежь и работников предприятий металлургической промышленности, в первую очередь работников Магнитогорского металлургического комбината (ММК). Именно в рамках такой деятельности возможно появление профессорско-преподавательского состава, хорошо знающего и глубоко (не книжно) понимающего читаемые лекционные курсы.

Безальтернативную эффективность взглядов А.М. Бигеева на организацию деятельности высшего учебного

заведения в целом и отдельных его кафедр автор данной статьи понял на собственном опыте. В период работы мастером производства одного из мартеновских цехов ММК мною было получено от А.М. Бигеева убедительно обоснованное предложение поступить в аспирантуру дневной формы обучения. Тема предстоящей диссертационной работы состояла в совершенствовании технологии выплавки низкоуглеродистой стали в мартеновских печах и была выбрана в соответствии с уже имеющимся производственным опытом и полученными на производстве знаниями. Однако после года проведения экспериментов на производстве А.М. Бигеев очень деликатно предложил мне изменить тему диссертации и включиться в выполнение совсем другой работы – изучение затвердевания крупных слитков кипящей стали. К отливке таких слитков, масса которых вдвое превышала массу слитков имеющихся, комбинат приступил в связи с вводом в эксплуатацию нового обжимного стана – слябинга. При прокатке крупных слитков нередко происходило вздутие слябов, что было неисправимым браком. К этому времени А.М. Бигеев был уже квалифицированным специалистом в области разлива и кристаллизации стали, а также соавтором монографии по вопросам разлива [1]. Он прекрасно понимал, что вздутие слябов происходит в тех случаях, если слитки к моменту прокатки не успевают полностью затвердеть, и поэтому необходимо провести исследование процесса затвердевания новых слитков. Он сумел быстро достигнуть *устной* договоренности с руководителями нескольких цехов и служб ММК о проведении такой работы в условиях действующего производства. В течение года исследование было проведено и найден рациональный режим охлаждения крупных слитков после отливки, что позволило существенно сократить брак при прокатке крупных слитков. К сказанному необходимо добавить, что в дальнейшем под совместным руководством А.М. Бигеева и Н.И. Иванова был разработан режим рационального нагрева крупных слитков на слябинге перед прокаткой и окончательно устранено вздутие слябов. Ответственным исполнителем этой части работы был молодой старший преподаватель кафедры металлургической теплотехники В.М. Рябков (впоследствии ректор МГМИ), защитивший по материалам этого исследования кандидатскую диссертацию.

Интенсивная научная работа кафедры металлургии стали требовала должного организационного и финансового обеспечения. При решении этих вопросов А.М. Бигеев использовал все имеющиеся возможности. Здесь в первую очередь необходимо назвать аспирантуру. Магнитогорский горно-металлургический институт получил право иметь аспирантуру в конце пятидесятых годов. А.М. Бигеев был в числе первых её руководителей. В дальнейшем он добился права быть руководителями аспирантуры и для некоторых других преподавателей кафедры металлургии стали. Это дало возможность кафедре постоянно иметь несколько аспирантов, эффективно занимающихся научной работой.

Проведение научных исследований в области технических наук невозможно без значительного финансирования. Основным источником финансирования прикладных научных исследований в высших учебных заведениях в период существования СССР были хоздоговорные работы с промышленными предприятиями. А.М. Бигеев прекрасно понимал, что стабильно такой источник финансирования научных исследований может функционировать только в рамках государственных программ. Поэтому он сам или кто-либо из ведущих преподавателей кафедры ежегодно принимал участие в координационных совещаниях по ключевым вопросам сталеплавленного производства, проводимых головными организациями. В совещаниях принимали участие представители металлургических заводов, научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, рассматривались результаты выполненных работ, запланированных ранее, составлялись планы новых работ, определялись их исполнители и объемы финансирования. Все это позволяло кафедре металлургии стали стабильно иметь финансирование научных исследований, штат исполнителей и даже иногда приобретать новое оборудование.

Научная работа кафедры металлургии стали МГМИ под руководством А.М. Бигеева велась практически по всем актуальным направлениям развития отечественного и мирового сталеплавленного производства. Здесь достаточно лишь перечислить основные циклы работ, выполнявшихся совместно с работниками Магнитогорского металлургического комбината под научным руководством А.М. Бигеева:

- применение агломерата вместо железной руды при шихтовке мартеновской плавки;
- перевод мартеновских печей ММК на отопление природным газом;
- интенсификация мартеновской плавки путем продувки ванны газообразным кислородом;
- совершенствование конструкции свода мартеновской печи с целью повышения его стойкости;
- разработка технологии выплавки стали в двухваннах сталеплавленных агрегатах;
- вакуумная обработка металла в сталеразливочном ковше.

Уделяя, как показано выше, большое внимание совершенствованию процессов производства стали в существующих мартеновских цехах, А.М. Бигеев понимал, что перспектива Магнитогорского металлургического

комбината состоит в переходе от мартеновского процесса с разливкой стали в изложницы к кислородно-конвертерному процессу с непрерывной разливкой стали. Проводимая им настойчивая пропаганда этого положения на всех уровнях управления отечественной металлургией, вплоть до Министерства черной металлургии СССР, привела к началу строительства кислородно-конвертерного цеха ММК в 80-х годах прошлого века. К моменту распада СССР было завершено строительство лишь первой очереди цеха, имеющей проектную производительность 5 млн т стали в год. Именно этот цех, не достроенный до состояния полной проектной производительности 10,5 млн т в год, обеспечил сохранение лидерского положения ПАО «ММК» в металлургии Российской Федерации. В настоящее время кислородно-конвертерный цех, после очень небольшой модернизации, имеет производительность более 12 млн т стали в год.

Многосторонние научные исследования А.М. Бигеева имеют одну общую особенность, заключающуюся в разработке математического описания процесса, как единого технологического комплекса и последующего совершенствования технологии на этой основе. Описание ведется на основе материальных и тепловых балансов, составляемых с учетом физико-химических процессов, протекающих между металлом, шлаком и газовой фазой. Впервые такой метод А.М. Бигеев применил для научно обоснованного расчета шихты мартеновской плавки [2]. Правильное решение этого частного вопроса играло исключительно большую роль в определении длительности плавки и качества стали. В дальнейшем этот метод был применен к расчету разных вариантов мартеновской плавки [3], а также к расчету других сталеплавильных процессов [4, 5].

Развернутое математическое описание является стержнем практически всех научных исследований, выполняемых как профессором А.М. Бигеевым лично, так и его учениками и последователями. Такой подход к проведению научных исследований другие коллективы отечественных и зарубежных специалистов в области сталеплавильного производства до А.М. Бигеева не применяли. Поэтому можно говорить о создании профессором А.М. Бигеевым собственной научной школы.

Играя важную роль в практической металлургии, научные исследования прикладного характера не могут определить перспективные пути её развития. В решении таких задач необходимы научные исследования поискового характера. Сознывая такую необходимость, А.М. Бигеев организовал при кафедре металлургии стали МГМИ Отраслевую лабораторию сталеплавильного производства, которая под его научным руководством работала более 10 лет. Лаборатория работала по планам Госкомитета СССР по науке и технике, получая для этого необходимое финансирование, достаточно значительное по тем временам. Тематика работ сначала была направлена на создание непрерывных сталеплавильных процессов [6]. В дальнейшем тематика работ лаборатории была расширена в направлении создания технологических схем получения в рамках единого производственного комплекса стали из железорудного сырья, минуя доменный процесс. Одним из звеньев этого процесса было жидкофазное восстановление железорудного сырья. Мотивом для разработки подобных технологических схем развития черной металлургии являются ограниченные запасы коксующихся углей, которых по оценкам специалистов хватит металлургии при нынешних темпах её развития примерно на 50 лет. К сожалению, деятельность отраслевой лаборатории сталеплавильного производства при кафедре металлургии стали МГМИ прекратилась в период распада Советского Союза, а работы по созданию новых технологических схем для черной металлургии не были доведены до получения реальных результатов.

Придавая важное значение научной деятельности кафедры, первоочередной задачей нашего вуза профессор А.М. Бигеев всегда считал подготовку высококвалифицированных инженерных кадров для Магнитогорского металлургического комбината и Уральского региона.

Совершенствование учебного процесса осуществлялось по разным направлениям. В период существования СССР учебный процесс осуществлялся по министерским учебным планам, которые жестко определяли перечень всех изучаемых дисциплин и их объем. А.М. Бигеев был постоянным членом методического совета Министерства образования РСФСР, занимавшегося составлением учебных планов. Однако их не просто было адаптировать к подготовке специалистов для ММК и других металлургических предприятий. Совершенствование учебного процесса в таких условиях могло осуществляться лишь по линии содержания лекций, лабораторных и практических занятий, курсового и дипломного проектирования, учебных и производственных практик. А.М. Бигеев лично и в сотрудничестве с другими преподавателями кафедры стали постоянно писать и издавал учебники и учебные пособия с грифом министерства. Его учебник «Металлургия стали» выдержал три издания [7]. В лабораториях кафедры постоянно создавались оригинальные лабораторные работы, по образцу которых ставились лабораторные работы в других металлургических вузах страны. Постоянно готовились и периодически обновлялись методические указания по выполнению практических заданий, курсовых и дипломных проектов. Особая роль отводилась производственной практике. Как правило, все студенты проходили практику на

оплачиваемых рабочих местах в цехах ММК или тех предприятий, где предполагалась их инженерная деятельность после окончания вуза.

Особую роль в учебном процессе А.М. Бигеев отводил использованию технических средств обучения. Кафедра металлургии стала одной из первых в институте организовала собственную предметную аудиторию, оснащенную кино- и телеустановками, управляемыми со специального пульта преподавателем, ведущим занятие. При появлении персональных компьютеров на кафедре был создан свой компьютерный класс, который успешно функционирует и в настоящее время. Компьютеры в классе оснащены программным обеспечением, разработанным преподавателями кафедры самостоятельно или в содружестве с организациями, профессионально занимающимися разработкой программного обеспечения. Основой программного обеспечения является математическое описание технологических процессов по методике А.М. Бигеева. Особенно следует выделить уникальный комплекс компьютерных имитаторов процессов выплавки, ковшевой обработки и непрерывной разливки стали, который используется как в учебном процессе кафедры, так и для повышения квалификации специалистов металлургических предприятий [8].

Традиции деятельности высшей школы, заложенные профессором А.М. Бигеевым, сохраняются его учениками и последователями и в настоящее время. В этой связи достаточно указать на подготовку учебных пособий, отражающих современное состояние технологии в сталеплавильных цехах Магнитогорского металлургического комбината [9,10].

Подводя итог всему сказанному выше, следует заявить, что профессор А.М. Бигеев является выдающимся педагогом и ученым, внесшим большой вклад в развитие отечественной металлургии и металлургической науки, подготовившим несколько поколений специалистов-металлургов. Особо значима его всесторонняя деятельность в г. Магнитогорске. Здесь он был и продолжает оставаться знаковой фигурой, символом магнитогорской науки и педагогики, причем не только в сфере металлургии.

Список литературы

1. Заверюха Н.В., Бигеев А.М., Безденежных А.А., Волков Л.А. Разливка стали в современных мартеновских цехах. Свердловск: Металлургиздат, 1959. 210 с.
2. Бигеев А.М. Расчет мартеновских шихт при скрап-рудном процессе. М.: Металлургиздат, 1957. 196 с.
3. Бигеев А.М. Расчет мартеновских плавок. М.: Металлургия, 1966. 388 с.
4. Бигеев А.М., Колесников Ю.А. Основы математического описания и расчеты кислородно-конвертерных процессов. М.: Металлургия, 1970. 229 с.
5. Бигеев В.А. Математическое описание и расчеты сталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1982. 156 с.
6. Бигеев А.М. Непрерывные сталеплавильные процессы. М.: Металлургия, 1986. 136 с.
7. 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.
8. Использование имитаторов-тренажеров сталеплавильного производства в условиях ОАО «ММК»/ Чудинова Ю.А., Селиванов В.Н., Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Бигеев В.А. // Металлург. 2009. №1. С. 55-59.
9. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 308 с.
10. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.

Сведения об авторе

Селиванов Валентин Николаевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE CREATIVE HERITAGE OF PROFESSOR A.M. BIGEEV

Selivanov Valentin Nicolaevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.
Phone: (3519)298449. E-mail: mcm@magtu.ru

***Abstract.** In December 2017, 100 years have passed since the birth of Professor A. Bigeev. This outstanding scientist has made a great contribution to the development of the national metallurgical science and higher education. He is a creator of a special scientific and pedagogical school, which is based on improving metallurgical technologies and training specialists on the basis of a comprehensive and complete mathematical description of technological processes. He, his disciples and followers have prepared a huge team of steel making specialists for metallurgical enterprises in the Ural region.*

Keywords: *Professor A.M. Bigeev, creative work, steelmaking processes, mathematical description, continuous metallurgical processes.*

Ссылка на статью:

Селиванов В.Н. Творческое наследие профессора А.М. Бигеева // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 4-8.

Selivanov V.N. The creative heritage of Professor A.M. Bigeev. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 4-8.

ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

УДК 662.74:662.765

Петухов В.Н., Батяев Я.С., Петухова О.И., Карсакова Л.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУППОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕАГЕНТОВ - ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ

Аннотация. Эффективное применение углей различных технологических марок возможно только после их обогащения, так как повышенная зольность и сернистость снижают полезность углей, а в случае их использования при коксовании металлургический кокс не удовлетворяет требованиям доменного производства. Показатели продуктов обогащения угольной мелочи во многом определяются применяемым реагентным режимом. В данной работе проводились исследования по изучению влияния группового химического состава реагентов - вспенивателей на показатели флотации. В качестве исходного питания флотации исследовалась угольная мелочь ЦОФ «Беловская» с зольностью от 20,0 до 21,1%. Установлено, что для получения высоких показателей продуктов флотации углей в качестве реагента - вспенивателя необходимо использовать технический продукт нефтехимии «Экофол». Применение его позволяет повысить извлечение горючей массы в концентрат на 1,9-2,5% и снизить потери органической массы угля с отходами флотации.

Ключевые слова: флотация, эффективность, реагент, сернистость, извлечение горючей массы, зольность.

Эффективное использование углей различных марок, особенно для технологических целей, возможно только при их обогащении, так как повышенная зольность и сернистость значительно снижают полезность углей, а в случае применения углей в шихтах для коксования вообще делают их непригодными к использованию. Показатели обогащения угольной мелочи во многом определяются реагентным режимом [1-6]. В данной работе проводились исследования по улучшению качественных показателей продуктов флотации углей за счет разработки нового реагентного режима. В качестве исходных углей исследовалась угольная мелочь ЦОФ «Беловская» крупностью менее 0,5 мм с зольностью от 20,0% до 21,1%. В качестве реагентов - вспенивателей исследовались:

КОБС – кубовый остаток от производства бутиловых спиртов. Эффективный поверхностно-активный реагент для флотации углей.

Компонентный состав, % масс:

Алифатические спирты – С8	60,1
Сложные эфиры	17,5
Кетоны	15,0
Альдегиды	7,4

Кэтгол - кубовые остатки ректификации 2-этилгексанола – содержит в своем групповом химическом составе смесь первичных спиртов алифатического и этиленового ряда и альдегиды изостроения.

Однородная жидкость от светло-коричневого до черного цвета, не содержащая механических примесей.

Основные физико-химические свойства:

Плотность при 20°C, г/см ³ , не менее	0,800
Содержание 2-этилгексанола, % вес, не более	15
Вязкость кинематическая при 50°C,	

ССТ не более	8
Температура застывания не выше, °С	-30
Температура вспышки в открытом тигле, не ниже, °С	-65
В качестве реагентов-собирателей были использованы:	

Газойль - смесь углеводородов различного строения, преимущественно С₁₇—С₃₅, и примесей (главным образом серо-, азот- и кислородсодержащих) с пределами выкипания 200—500 °С.

Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 20 °С	5,6
Цетановое число	49
Температура застывания, °С	-23
Плотность при 20 °С, кг/м ³	915

Флотэк - флотационный реагент состоит из смеси алифатический спиртов, сложных и простых эфиров, углеводородов и присадок.

Температура кипения, °С	160-370
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,87-0,97
Температура застывания, °С	-10 (-30 зимний)
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	7-12

Групповой химический состав «Экофол», % масс.:

2-этилгексанола	18,3-18,6
спирты нормального строения	5,6-6,0
спирты изостроения С11-С20	14,0-14,5
2-(дициклокси)-этанол до 2-(тетрадициклокси)	
-этанол	28,0-28,3
сложные эфиры жирных кислот	2,2-2,5
олефины изостроения С10-Н20-С20Н40	8,0-33,0
неидентифицированные соединения	0,3-0,7

Исследованием флотации смеси технологических марок углей ЦОФ «Беловская» было установлено, что при использовании в качестве реагента-вспенивателя кубовых остатков бутиловых спиртов суммарный выход концентрата составил 79,2 % с зольностью 9,6%. При этом извлечение горючей массы в концентрат составляет 90,7%.

При использовании в качестве реагента - вспени-

вателя 2-этилгексанола выход концентрата снижается и составляет 73,0%, с зольностью 8,7%, при извлечении горючей массы в концентрат 84,5%. При этом зольность концентрата снижается на 0,9%. В случае использования в качестве реагента - вспенивателя «Экофол» получено наиболее высокое извлечение горючей массы в концентрат - 91,8% при суммарном выходе концентрата 80,2% и его зольность 9,7%. Зольность отходов составляет 67,3%. Использование в качестве реагента - вспенивателя «Кэтгола» привело к снижению показателей флотации угля. Выход концентрата снижается на 4,8% по сравнению с исполь-

зованием в качестве реагента - вспенивателя «Экофол». Зольность отходов снижается с 67,3 до 56,0%. Это указывает на значительные потери органической массы угля с отходами флотации. Таким образом, исследования флотиремости угольной мелочи с использованием в качестве реагентов-вспенивателей технических продуктов нефтепереработки показали, что лучшие показатели по выходу концентрата получены в случае использования «Экофол». Выход концентрата повышается на 0,4-4,8% по сравнению с использованием в качестве реагента вспенивателя «КОБС», «2-метилгексанола» и «Кэтгола» (Табл.1).

Таблица 1

Показатели флотации смеси углей технологических марок ЦОФ «Беловская» при использовании различных реагентов – вспенивателей

Реагентный режим					Показатели флотации			
Собира- тель	Вспе- ниватель	Расход реагентов, кг/т			Продукты фло- тации	Вы- ход,%	Золь- ность A ^d ,%	Извлечение горючей массы в концен- трат, %
		Соби- ратель	Вспе- нива- тель	Об- щий				
Газойль	КОБС	2,16	0,2	2,36	Концентрат	79,2	9,6	90,7
					Отходы	20,8	64,9	
	2-этил- гекса- нол	2,16	0,2	2,36	Концентрат	73,0	8,7	84,5
					Отходы	27,0	54,6	
	Экофол	2,16	0,2	2,36	Концентрат	80,2	9,7	91,8
					Отходы	19,8	67,3	
	Кэтгол	2,16	0,2	2,36	Концентрат	75,4	9,2	87,0
					Отходы	24,6	56,0	
					Исходный	100	21,1	

Повышение флотационной активности реагентного режима с использованием в качестве реагента-вспенивателя «Экофол», по-видимому, объясняется не только повышением его пенообразующей способности по сравнению с «КОБС» и «Кэтголом», но также наличием в реагенте до 33% олефинов с изостроением углеводородных радикалов. Данные соединения имеют высокую адсорбционную способность на

угольной поверхности за счет наличия п-электронов кратных углерод-углеродных связей [7-10]. Это обуславливает повышение гидрофобизации угольной поверхности и высокую флотиремость угольных частиц.

В связи с установлением наиболее высоких показателей флотации смеси технологических марок углей с использованием в качестве реагентов - вспенивате-

лей «Экофол» и «Кэтгол» нами при исследовании влияния группового химического состава реагентов - собирателей на флотированность угольной мелочи ЦОФ «Беловская» применялись вышеуказанные реагенты - вспениватели. Установлено, что показатели флотации угля зависят как от применяемого реагента - собирателя, так и от используемого реагента - вспенивателя.

При использовании в качестве реагента - собирателя «Газойль» получены наиболее высокие показатели флотации по сравнению с реагентом - собирателем «Флотек». Извлечение горючей массы в концентрат повышается на 1,9-2,5% в зависимости от используемого реагента - вспенивателя при одновременном увеличении расхода реагента - собирателя «Флотек» с 2,5 до 3,0 кг/т. Это объясняется групповым химическим составом собирателей. В реагенте - собирателе «Газойль» содержатся углеводороды различных классов, что обеспечивает синергизм адсорбционной активности отдельных классов углеводородов на энер-

гетически неоднородной угольной поверхности. Это обуславливает повышенную адсорбцию и гидрофобизацию поверхности угольных частиц и, при прочих равных условиях процесса флотации, более высокие показатели флотации.[11-14]. Однако применение вспенивателя «Экофол» позволяет получать более высокие показатели флотации углей по сравнению с использованием вспенивателя «Кэтгола» не зависимо от использованного реагента - собирателя. При равном расходе реагента - собирателя «Газойля» (2,5 кг/т) применение «Экофол» в количестве (0,3 кг/т) позволило повысить извлечение горючей массы в концентрат на 2,2% при зольности концентрата 7,9% по сравнению с применением в качестве реагента вспенивателем «Кэтгол». Зольность отходов в случае применения «Экофола» повышается с 66,1 до 69,0%, что указывает на снижение потерь органической массы углей с отходами флотации (Табл. 2).

Таблица 2

Показатели флотации углей при различных реагентных режимах

Реагентный режим					Продукты флотации	Выход, %	Зольность A ^d , %	Извлечение горючей массы в концентрат, %
Собиратель	Вспениватель	Расход реагентов, кг/т						
		Собиратель	Вспениватель	Общий				
Газойль	Экофол	2,5	0,3	2,8	Концентрат	80,2	7,9	92,3
					Отходы	19,8	69,0	
	Кэтгол	2,5	0,3	2,8	Концентрат	78,8	7,6	90,1
					Отходы	21,2	66,1	
Флотек	Экофол	3,0	0,3	3,3	Концентрат	77,6	6,8	90,4
					Отходы	22,4	65,7	
	Кэтгол	3,0	0,3	3,3	Концентрат	75,0	6,5	87,6
					Отходы	25,0	60,5	
					Исходный	100,0	20,0	

Подобные закономерности флотационной активности реагентов - вспенивателей различного группового химического состава установлены в случае применения в качестве реагента собирателя «Флотек». При равном общем расходе реагентов в количестве 3,3 кг/т выход концентрата повышается на 2,6%, при его зольности 6,8% и зольности отходов 65,7%, по сравнению с применением в качестве реагента вспенивателя «Кэтгол» (см. табл. 2).

Исследованием установлено, что для получения наиболее высоких показателей в процессе флотации следует использовать в качестве реагента - собирателя технологический продукт нефтепереработки «Газойль», а в качестве реагента - собирателя - технический продукт нефтепереработки «Экофол». Применение «Газойля» и реагента - вспенивателя «Экофол» позволяет повысить выход концентрата на 2,6% при его зольности 7,9% по сравнению с использованием реагента - собирателя «Флотек». Зольность отходов флотации в случае применения «Газойля» повышает-

ся с 65,7 до 69,0%. При этом расход реагента - собирателя «Газойль» снижается на 20%.

Заключение

Исследованием установлено, что наиболее высокая эффективность флотации угля при использовании в качестве реагента - вспенивателя технического продукта нефтехимии «Экофол». Применение его при флотации смеси технологических марок углей позволило повысить выход концентрата на 2,6-4,8% по сравнению с использованием других реагентов – вспенивателей. Из исследованных реагентов - собирателей наиболее высокие показатели флотации получены в случае применения технического продукта нефтехимии «Газойля». Применение «Газойля» и реагента - вспенивателя «Экофол» позволяет повысить выход концентрата на 2,6% при его зольности 7,9% по сравнению с использованием реагента собирателя «Флотек», зольность отходов флотации в случае применения «Газойля» повышается с 65,7 до 69,0%. Повышенная флотационная активность реагента - собирателя «Газойля» объясняется адсорбцией непредельных и ароматических углеводородов на угольной поверхности, обуславливающих высокую гидрофобизацию поверхности угольных частиц и, при прочих равных условиях, повышение извлечения горючей массы углей в концентрат.

Список литературы

1. Кубак Д.А. Рациональное использование природных ресурсов путем разработки высокоэффективных реагентных режимов при флотации углей // Проблемы недропользования: материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 8-11 февраля 2011 г. Екатеринбург, 2011.
2. Петухов В.Н. Основы теории и практика применения флотационных реагентов при обогащении углей для коксования. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 453 с.
3. Петухов В.Н., Юнаш А.А. Разработка новых реагентных режимов флотации углей // Кокс и химия. 1998. № 3. С. 5-8.
4. Сирченко А.С., Петухов В.Н. Снижение загрязнения окружающей среды при флотации каменных углей путем разработки новых реагентных режимов // Проблемы повышения экологической безопасности производственно-технологических комплексов промышленных регионов: сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 135-138.
5. Петухов В.Н., Кубак Д.А., Семенов Д.Г. Исследование влияния группового химического со-

става комплексных реагентов на эффективность флотации углей // Вестник МГТУ. №1. 2014. С.

6. Некоторые возможные области применения кремниевых аналогов циклических ацеталей/ Гальченко Е.П., Петухов В.Н., Мусавилов Р.С. и др. // Журнал прикладной химии. 1990. № 11. С. 2527-2532.
7. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. (Осина Н.Ю.). Повышение эффективности процесса флотации угля с использованием нового реагента-собирателя // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 г: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Т.1. С.111-113.
8. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности // VI Конгресс обогатителей стран СНГ: материалы конгресса, Т.1. М.: Альтекс, 2007. С.149-150.
9. Разработка нового реагентного режима флотации углей на основе результатов изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности/ Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юнаш А.А., Саблин А.В. // Кокс и химия. 2007. №9. С.6-9.
10. Петухов В.Н., Кубак Д.А. Разработка реагентного режима флотации угольных шламов на основе изучения флотационной активности чистых химических соединений // Сб. тезисов VIII Конгресса обогатителей стран СНГ. 2011. С.23-25.
11. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Кубак Д.А. Основы квантово—химического моделирования взаимодействия флотационных реагентов с угольной поверхностью. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2014. 183 с.
12. Саблин А.В. Исследование и разработка нового реагентного режима флотации углей на основе термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности /В.Н. Петухов, Н.Ю. Осина, А.А. Юнаш, А.В. Саблин // Башкирский химический журнал. 2007. №3. Т.14. С.69-71.
13. Исследование флотиремости углей различной минерализации органической массы с использованием нового реагента-собирателя / Петухов В.Н., Саблин А.В., Лавриненко А.А., Юнаш А.А. // Вестник Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2008. № 2. С. 31-33.
14. Свечникова Н.Ю. Обоснование выбора собирателей из группы алкенов изомерного строения для интенсификации флотации угля: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2008. 21 с.

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

Батяев Ярослав Сергеевич – магистрант Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Магнитогорск, Россия.

Петухова Ольга Игоревна – канд. техн. наук, доцент Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Магнитогорск, Россия.

Карсакова Людмила Сергеевна - магистрант Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. Магнитогорск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GROUP CHEMICAL COMPOSITION OF FOAMING REAGENTS ON THE INDICATORS OF COAL FLOTATION

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

Batyaev Yaroslav Sergeyeovich - Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Petukhova Olga Igorevna – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Karsakova Lyudmila Sergejevna - Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstracts. Effective use of various technological grade coals is possible only after their enrichment, as increased ash and sulfur content reduce the usefulness of coal, and in the case of their applying in coking, metallurgical coke does not meet the requirements of blast furnace production. Indicators products of enrichment coal fines are largely determined by the used reagent mode. In the frame of this work study the effect of the group chemical composition of the blowing agents on the flotation indicators was conducted. As a feedstock of flotation, the coal fines of the CEF "Belovskaya" with an ash content of 20.0 to 21.1% were investigated. It has been established that technical product of petro chemistry "Ekofol" can be used as a reagent of the foaming agent to obtain high indices of coal flotation products. Such usage makes it possible to increase the extraction of combustible mass into the concentrate by 1.9-2.5% and reduce the loss of coal organic mass with flotation waste.

Keywords: flotation, efficiency, sulfur content, extraction of combustible material, ash content.

Ссылка на статью:

Петухов В.Н., Батяев Я.С., Петухова О.И., Карсакова Л.С. Исследование влияния группового химического состава реагентов вспенивателей на показатели флотации углей // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 9-13.

Petukhov V.N., Batyaev Y.S., Petukhova O.I., Karsakova L.S. Investigation of the influence of group chemical composition of foaming reagents on the indicators of coal flotation. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 9-13.

МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

УДК 621.74.047

Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В., Мурапталова Р.Р.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Аннотация В работе изучается влияние различных факторов на степень развития краевых точечных загрязнений сортовой непрерывнолитой заготовки. Решающим фактором снижения загрязненности сортового непрерывнолитого металла оксидными неметаллическими включениями является применение способа разлива металла закрытой струей. Для уменьшения степени развития краевых точечных загрязнений необходимо также иметь содержание серы в разливаемом металле не более 0,006 %, отношение содержания марганца к содержанию серы – не менее 80, содержание фосфора – не более 0,010 %.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, сортовая заготовка, неметаллические включения, технология разлива, параметры.

Дефекты непрерывнолитых заготовок подразделяются на дефекты формы [1-2], поверхностные и внутренние [3-6]. Внутренние дефекты характеризуют качество макроструктуры литого металла. Загрязненность металла неметаллическими включениями оценивается степенью развития точечной неоднородности в слябовой заготовке и краевых точечных загрязнений в сортовой заготовке. Описание краевых точечных загрязнений и взаимосвязи данного дефекта с другими дефектами макроструктуры приведено в ранее опубликованной работе [7]. В данной работе изучается влияние различных факторов на степень развития краевых точечных загрязнений сортовой непрерывнолитой заготовки.

Сортовая непрерывнолитая заготовка производится в электросталеплавильном цехе ПАО «ММК» [8-9]. Она отливается на двух пятиручьевых МНЛЗ радиального типа. Преобладающим сечением заготовки является квадрат со стороной 150 мм. В работе был исследован массив производственных данных объемом 2323 плавки. В массив вошел металл очень широкого сортамента как по содержанию углерода, так и по качеству металла, а также степени легирования. Весь металл разливался на сортовых МНЛЗ в отливки с размерами поперечного сечения 150×150 мм.

Производственные данные были подвергнуты корреляционно-регрессионному анализу для изучения влияния на степень развития краевых точечных загрязнений химического состава металла (содержания углерода, кремния, марганца, серы, отношения содержания марганца к содержанию серы, содержания фосфора, азота, алюминия), температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ, температуры ликвидус

стали, величины перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус, скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. В результате выполненного анализа были установлены линейные зависимости краевых точечных загрязнений ($КТЗ$, баллы) от следующих факторов:

- содержание углерода в металле ($[C]$, %);
- содержание в металле серы ($[S]$, %);
- отношение содержания марганца к содержанию серы ($[Mn]/[S]$);
- содержание фосфора в металле ($[P]$, %);
- содержание в металле алюминия ($[Al]$, %);
- температура металла в промежуточном ковше ($t_{нк}$, °С);
- температура ликвидус разливаемой стали ($t_{ликв}$, °С);
- скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора (w , м/мин).

Установленные зависимости характеризуются уравнениями:

$$КТЗ = 0,699 - 0,869 [C], \quad r = -0,4011; \quad (1)$$

$$КТЗ = 0,113 + 40,72 [S], \quad r = 0,5722; \quad (2)$$

$$КТЗ = 0,616 - 0,0012 [Mn]/[S], \quad r = -0,3805; \quad (3)$$

$$КТЗ = 25,01[P] - 0,03, \quad r = 0,3101; \quad (4)$$

$$КТЗ = 0,474 - 19,2 [Al], \quad r = -0,2265; \quad (5)$$

$$КТЗ = 0,0105 t_{нк} - 15,63, \quad r = 0,3951; \quad (6)$$

$$КТЗ = 0,0103 t_{ликв} - 15,13, \quad r = 0,3970; \quad (7)$$

$$КТЗ = 0,978 w - 1,90, \quad r = 0,3876. \quad (8)$$

Отрицательные значения коэффициента парной корреляции (r) свидетельствуют об убывающих зависимостях краевых точечных загрязнений от содержания углерода (1), отношения содержания марганца к содержанию серы (3) и содержания алюминия (5), остальные зависимости (2), (4), (6) – (8) являются возрастающими.

Сравнение абсолютных величин расчетных значений коэффициента парной корреляции с его критическими значениями: $r_{0,05} = 0,1946$; $r_{0,01} = 0,2540$ и $r_{0,001} = 0,3211$ показывает, что все полученные зависимости статистически значимы. Так, зависимости (1) – (3), (6) – (8) существуют с вероятностью 99,9 %, а зависимости (4) и (5) – с вероятностью 99 и 95 % соответственно.

Зависимости (2) и (4) подтверждают негативное влияние содержания таких вредных примесей, какими

являются сера и фосфор, на загрязненность литого металла неметаллическими включениями. Графическое изображение этих зависимостей в виде гистограмм, которые являются более наглядными в сравнении с точечными рисунками, представлено на рис. 1 и 2

Из этих рисунков следует, что для получения степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой заготовке не выше 0,5 балла необходимо иметь содержание серы в разливаемом металле не более 0,006 %, а фосфора – не более 0,010 %.

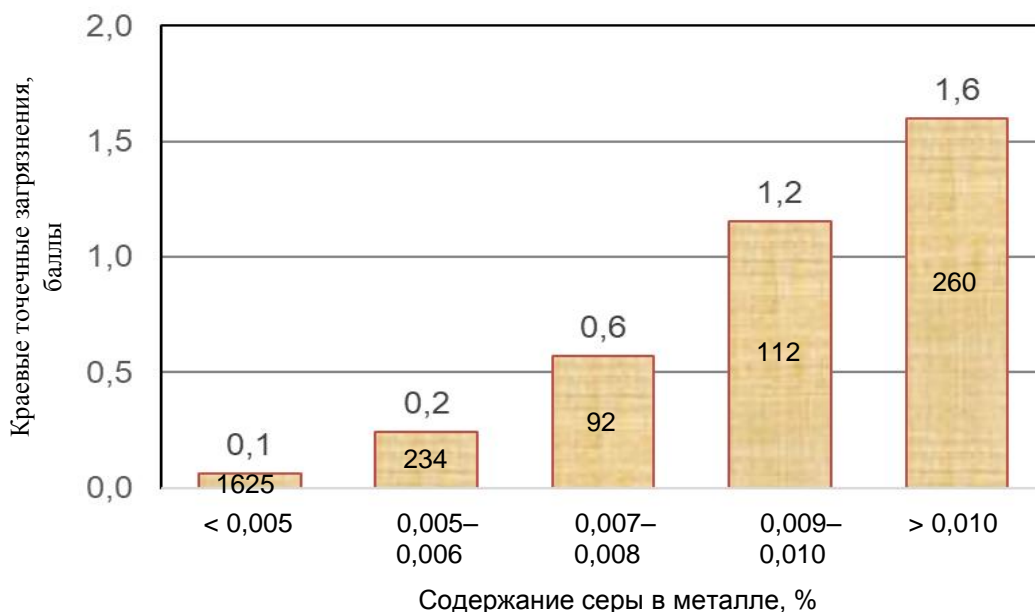


Рис. 1. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от содержания серы в металле: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавок.

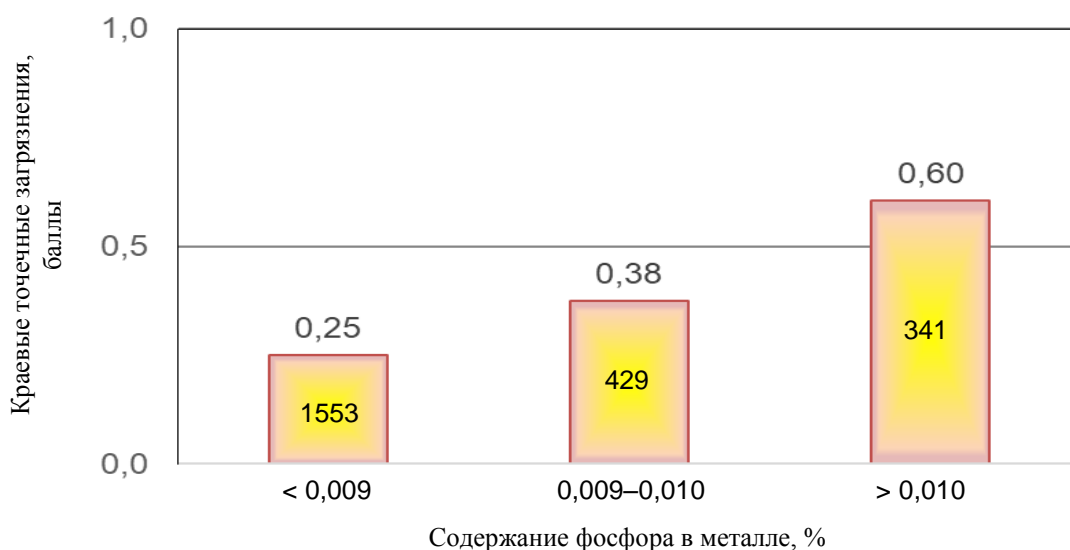


Рис. 2. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от содержания фосфора в металле: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавок.

С целью уменьшения вредного влияния серы на загрязненность металла неметаллическими включениями следует получать отношение $[Mn]/[S]$ в стали не менее 80 (рис. 3).

На рис. 4 и 5 показаны возрастающие зависимости степени развития краевых точечных загрязнений от скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора и температуры ликвидус металла.

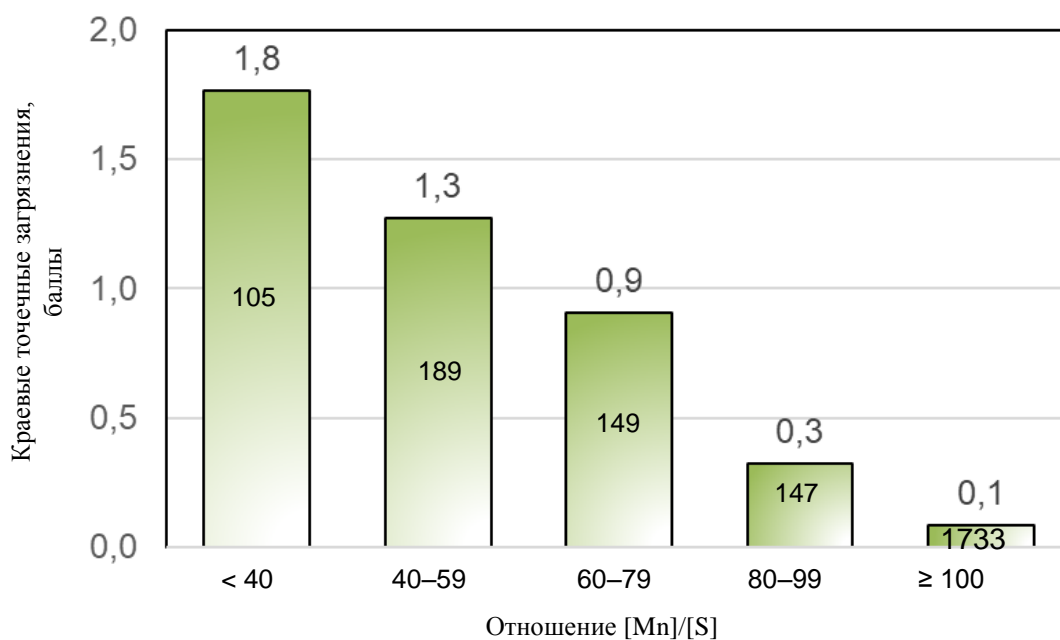


Рис. 3. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от отношения $[Mn]/[S]$: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавков

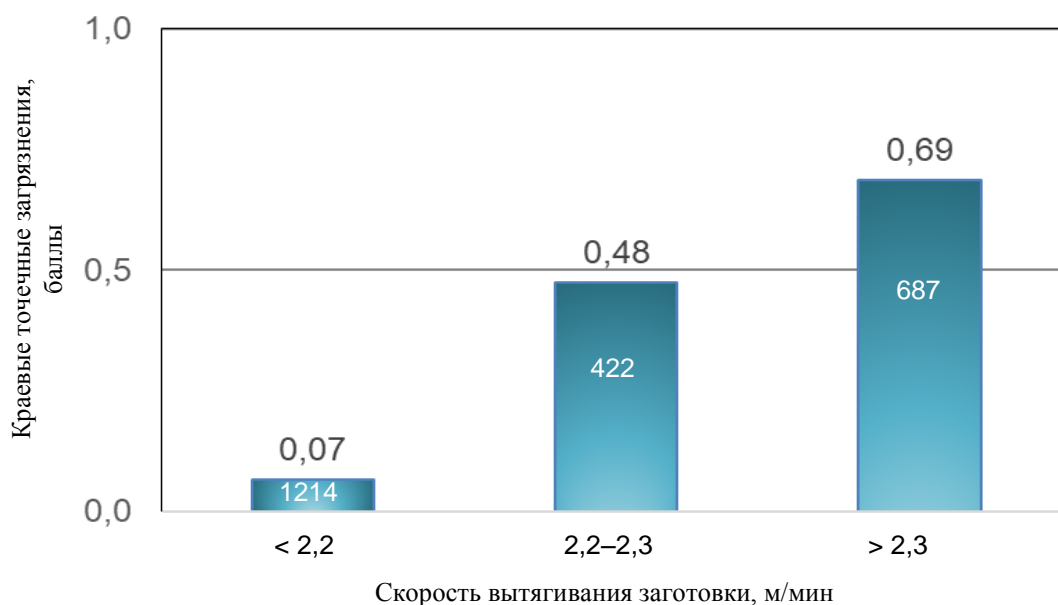


Рис. 4. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от скорости ее вытягивания: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавков.

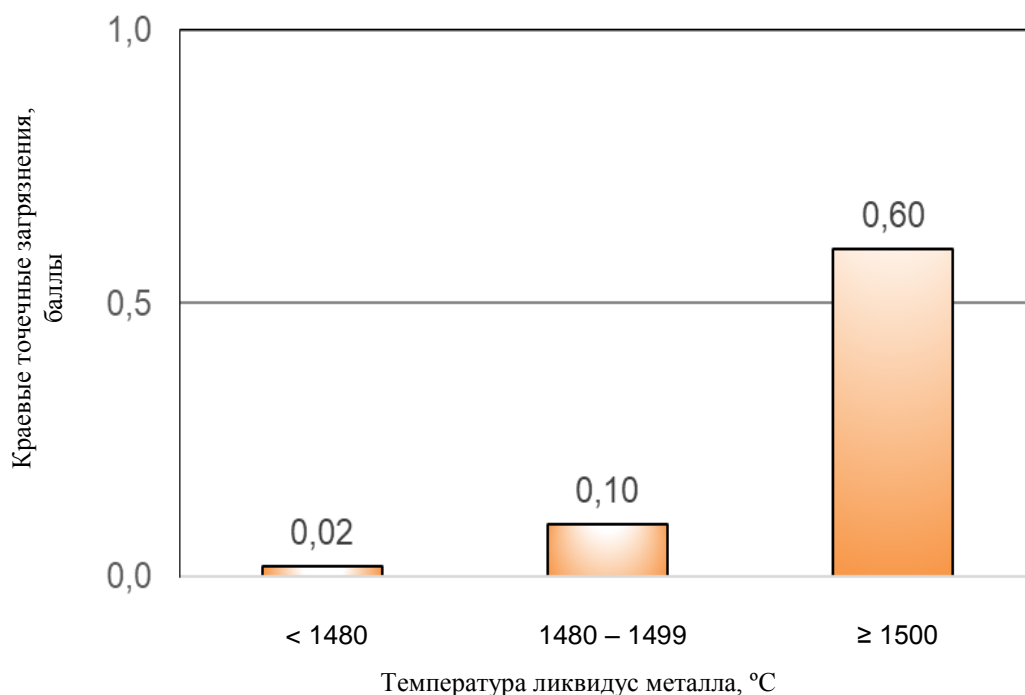


Рис. 5. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от температуры ликвидус металла: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавок.

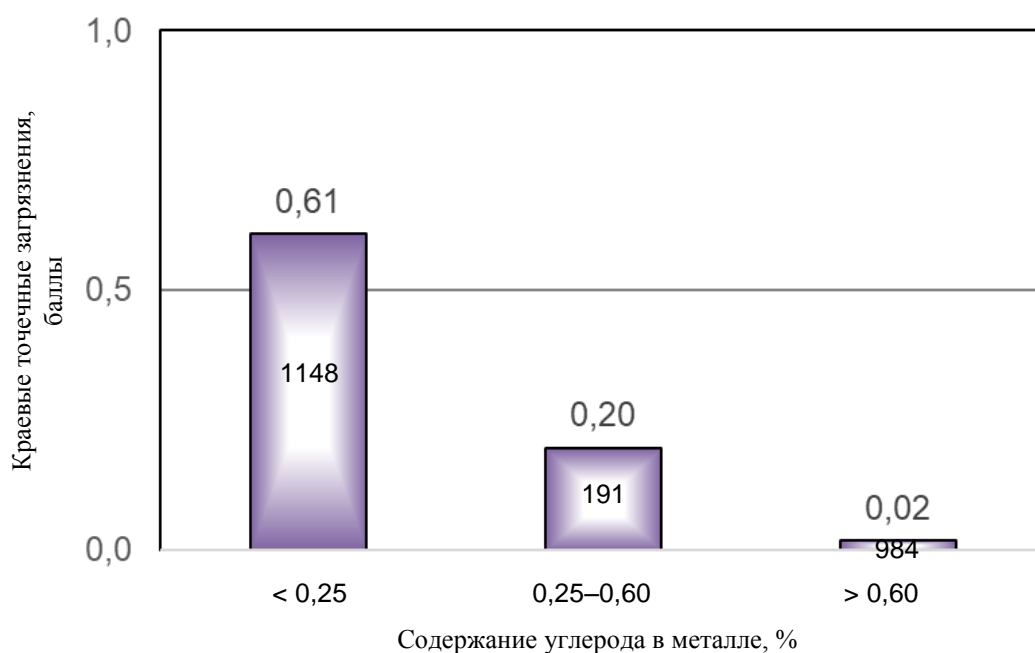


Рис. 6. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от содержания углерода в металле: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавок

С ростом скорости вытягивания заготовки прямо пропорционально увеличивается длина лунки жидкого металла внутри изогнутой заготовки, что препятствует всплыванию неметаллических включений из жидкой

сердцевины слитка на зеркало металла в кристаллизаторе.

Из двух значимых температурных факторов: температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ и

температуры ликвидус металла на рис. 5 рассмотрено влияние на степень развития краевых точечных загрязнений только температуры ликвидус металла, так как именно ее значение является определяющим для температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ.

При уменьшении температуры ликвидус металла ниже 1500 °С загрязненность заготовки неметаллическими включениями существенно снижается.

Наиболее сильное влияние на температуру ликвидус металла оказывает содержание углерода в разливаемой стали. С увеличением содержания углерода уменьшается температура ликвидус и снижается загрязненность металла неметаллическими включениями (рис. 6).

Это может объясняться тем, что весь средне- и высокоуглеродистый металл, а также часть низкоуглеродистого металла разливается из промежуточного ковша МНЛЗ в кристаллизатор закрытой струей через погружной стакан с покровным шлаком в кристаллизаторе. В то время как часть низкоуглеродистого металла, обычно обыкновенного качества с содержанием растворенного алюминия не более 0,006 %, разливается открытой струей, что ведет к вторичному окислению металла кислородом атмосферного воздуха и повышению загрязненности сортовой заготовки оксидными неметаллическими включениями (рис. 7).

С целью уточнения влияния способа разливки стали на загрязненность металла неметаллическими включениями из общего массива были выделены плавки в количестве 307 шт. одинакового химического состава – стали марки Ст.Зсп, разливка которой осуществлялась двумя способами: открытой и закрытой струей. Результаты оценки качества макроструктуры литого металла представлены на рис. 8. Степень развития краевых точечных загрязнений в заготовке, отлитой открытой струей, в 7,8 раз выше, чем в металле при разливке закрытой струей. Это свидетельствует о преобладании в составе неметаллики включений оксидного типа.

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что решающим фактором снижения загрязненности сортового непрерывнолитого металла оксидными неметаллическими включениями является применение способа разливки металла закрытой струей. Для уменьшения степени развития краевых точечных загрязнений необходимо также иметь содержание серы в разливаемом металле не более 0,006 %, отношение содержания марганца к содержанию серы – не менее 80, содержание фосфора – не более 0,010 %.

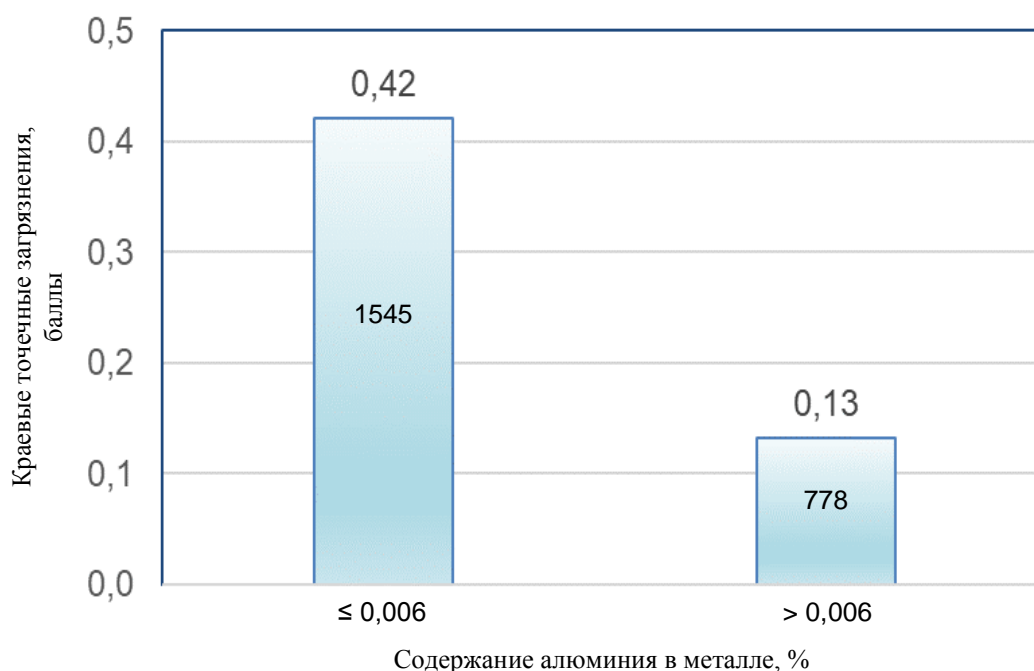
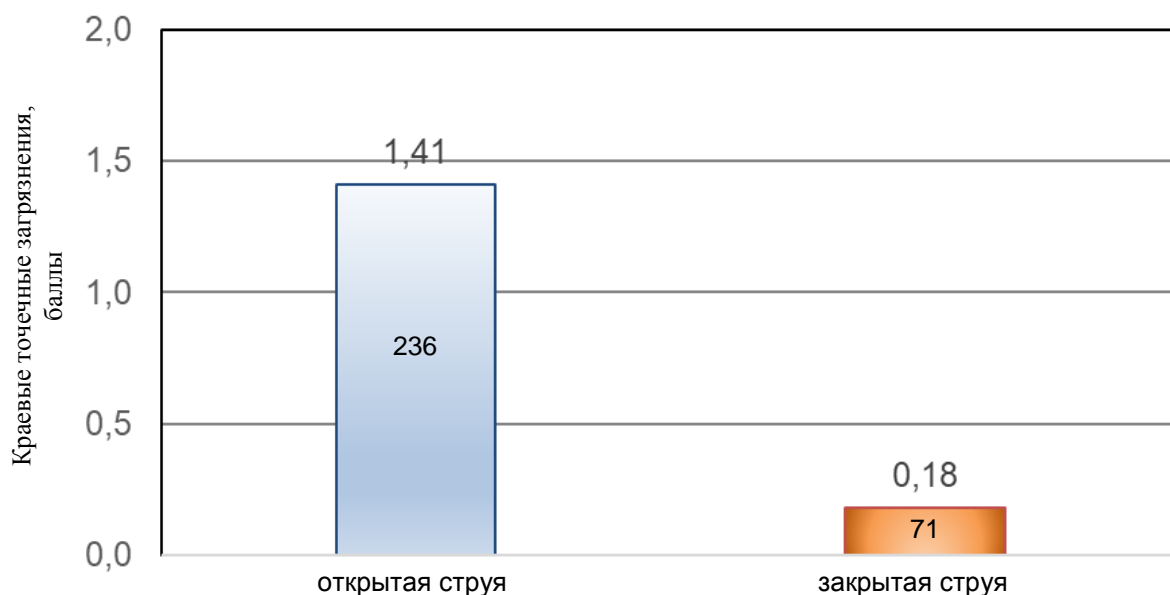


Рис. 7. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке от содержания алюминия в металле: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавков



Способ заливки металла в кристаллизаторы

Рис. 8. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке из стали марки Ст.Зсп от способа заливки металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы: цифры внутри столбиков – количество исследованных плавок

Список литературы

1. Изучение искажения поперечного сечения непрерывнолитого сляба / Е.А. Шевченко, А.М. Столяров, А.Н. Шаповалов, К.В. Баранчиков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2014. №1. С. 34 – 37.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Рациональная длина поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для условий ОАО «Уральская сталь» // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 38 – 41.
3. Столяров А.М., Юречко Д.В., Селиванов В.Н. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали разных марок. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 94 с.
4. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Применение мягкого обжатия непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2010. Вып.10. С. 57–62.
5. Ботников С. А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Волгоград: ООО «САТЕ», 2011. 97 с.
6. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24–27.
7. Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В. Краевые точечные загрязнения сортовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства. 2017. №4(23). С. 23–25.
8. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 308 с.
9. Столяров А.М., Великий А.Б., Юречко Д.В. Повышение эффективности разлива стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ. Магнитогорск: МГТУ, 2009. 126 с.

Сведения об авторах

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры технологии металлургии и литейных процессов Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

Мошкунув Владимир Викторович – канд. техн. наук, специалист НТЦ ПАО «ММК». Магнитогорск, Россия.

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологии металлургии и литейных процессов Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

Мурапталова Рамиля Рамилевна – бакалавр кафедры технологии металлургии и литейных процессов Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STUDY OF NON-METALLIC INCLUSIONS POLLUTION IN COCAST SORTED BILLET

Stolyarov Alexander Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: mcm@magtu.ru

Moshkunov Vladimir Viktorovich - Ph.D. (Eng.), specialist of STC PJSC "MMK"

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: mari-na_potapova8@mail.ru

Muraptalova Ramilya Ramilevna – bachelor degree student, Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: mcm@magtu.ru.

Abstract: *The influence of various factors on the degree of edge point contaminants development in a continuous casting billet is studied. The usage of a method for casting metal with a closed jet is a main decisive factor for reducing of continuously cast metal contamination with non-metallic oxide inclusions. To reduce the degree of development of edge point pollution, it is also necessary to achieve a sulfur content in the spilled metal not more than 0.006%, a ratio of manganese content to sulfur content of at least 80, and a phosphorus content of not more than 0.010%.*

Keywords: *continuous casting of steel, high-quality billets, non-metallic inclusions, casting technology, parameters.*

Ссылка на статью:

Изучение загрязненности неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Мошкунув В.В., Потапова М.В., Мурапталова Р.Р. // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 14-20.
Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V., Muraptalova R.R. Study of non-metallic inclusions pollution in cocrast sorted billet. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 14-20.

УДК 669.154:669.11

Бурмасов С.П., Гудов А.Г., Смирнов Л.А.

СТРУКТУРНЫЕ СОСТОЯНИЯ РАСПЛАВА ЖЕЛЕЗА И ЕГО РАСТВОРОВ С ВАНАДИЕМ, КРЕМНИЕМ И УГЛЕРОДОМ

***Аннотация.** Методами высокотемпературной вискозиметрии установлена возможность существования для расплава железа спектра подобных структурных состояний, получаемых при различных температурно-скоростных режимах формирования и отличающихся взаимоскомпенсированными значениями энтропии и энергии активации вязкого течения.*

Исследованы устойчивость состояний, условия взаимных переходов и выделены два наиболее стабильных состояния, характерные для случаев низко- и высокоинтенсивного нагрева и плавления, условно квалифицированные соответственно как рыхло- и плотноупакованные по уровню вязкости и величине энтропийного вклада в свободную энергию вязкого течения.

Выявлены особенности структурных состояний растворов железа с ванадием, кремнием и углеродом, установлена их взаимосвязь с исходным структурным состоянием расплава железа. Показаны возможности структурных исследований расплавов при термодинамической характеристике растворов. В частности, качественно подтверждены выводы о неидеальности растворов углерода и кремния и поведении ванадия в растворах железа, близком к идеальному.

Установлена взаимосвязь свойств твердого металла с особенностями структурного состояния расплавов и намечены пути технологической реализации резервов повышения качества стали при микролегировании.

Ключевые слова: расплавы железа, высокотемпературная вискозиметрия, структурные состояния, растворы, термодинамические параметры, микролегирование, качество стали.

Вне сомнения, что одной из основных проблем физикохимии металлических расплавов как теоретической базы разработки и получения новых, более совершенных металлических материалов была и остается проблема развития представлений об их структурном состоянии. Вне зависимости от характера и терминов модельного описания жидкого состояния [1, 2, 3, 4] общей чертой современных представлений о структуре жидкого железа является допущение однотипности структурного состояния и свойств расплава при заданных температуре и давлении независимо от условий его формирования. Отмеченное, как правило, положено в основу как теоретического описания растворов на основе железа, так и технологических решений при получении сталей и сплавов.

Вместе с тем, есть основания полагать, что расплавы железа могут устойчиво существовать в широком диапазоне структурных состояний и свойств. Об этом свидетельствуют широкий разброс данных о термодинамическом поведении легирующих элементов и углерода в жидком железе, данных по реологическим свойствам расплавов, по эксплуатационным свойствам сталей при однотипных технологических решениях, что, как правило, однозначно необъяснимо только с позиций колебания примесного состава.

В настоящей работе исследовали влияние температурно-скоростных условий формирования расплавов железа на их структурное состояние. Для диагностики структурного состояния воспользовались изменениями кинематической вязкости как структурночувствительного свойства.

Все исследования проводили в вакуумном высокотемпературном вискозиметре с использованием высокочистого гелия, в присутствии титанового геттера, с использованием тиглей из оксида циркония одной партии, дополнительно отожженных при 1800°C в течение 20 минут в атмосфере гелия в целях стабилизации свойств. В качестве объекта исследования было использовано чистое железо марки ОС.Ч.13-2 одной партии, дополнительно рафинированное водородом по одной технологии. Особенностью исследований было выделение трех режимов формирования расплава, которые в порядке интенсификации температурно-скоростных условий были обозначены В, С, D (рисунок 1-а):

В – равновесный режим - формирование расплава в ходе изотермической выдержки в течение 350 минут при 1544 оС, на 5 оС выше равновесной температуры плавления, при длительности плавления 100 минут;

С – неравновесный режим – формирование расплава в ходе изотермической выдержки в течение 50 минут при 1560 оС, на 26 оС выше равновесной тем-

пературы плавления, при длительности плавления 12 минут;

D – интенсивный режим - формирование расплава в ходе изотермической выдержки при 1600 оС, на 61 оС выше равновесной температуры плавления, при длительности плавления 1÷2 минуты.

Режим нагрева до температуры формирования расплава во всех случаях был стандартным (150 о/мин).

Установлено, что каждому режиму формирования расплава (рисунок 1-б) отвечает определенный уровень вязкости. Проведенные специальные анализы показали идентичность примесного состава металла во всех экспериментах, что исключает возможность объяснения полученных результатов с позиций примесного фактора.

Рассматривая роль структурного фактора, нами были исследованы температурные зависимости кинематической вязкости расплавов железа, получаемых при различных режимах его формирования (рисунок 2).

Экспоненциальный характер зависимости вязкости жидкости от температуры (1) является наиболее точной физической закономерностью.

$$\eta = A \cdot \exp(E_{\eta}/RT), \quad (1)$$

где A – постоянная, не зависящая от температуры;

E_{η} - энергия активации вязкого течения.

Аппроксимация полученных экспериментальных данных с помощью этой зависимости (таблица 1) позволяет отметить близость энергий активации и поставить в соответствие различному уровню вязкости, прежде всего, разную величину предэкспоненциального множителя.

Таблица 1

Параметры уравнения вязкого течения			
Уровень вязкости	№ поли-термы	Энергия активации, Дж/моль	Предэкспоненциальный множитель, м ² /с
B	1	39500	$5,66 \cdot 10^{-8}$
	2	42500	$4,57 \cdot 10^{-8}$
	3	41800	$4,78 \cdot 10^{-8}$
	среднее значение	41300	$5,00 \cdot 10^{-8}$
D	1	41400	$6,20 \cdot 10^{-8}$
	2	37500	$8,15 \cdot 10^{-8}$
	3	44700	$4,91 \cdot 10^{-8}$
	среднее значение	41200	$6,42 \cdot 10^{-8}$

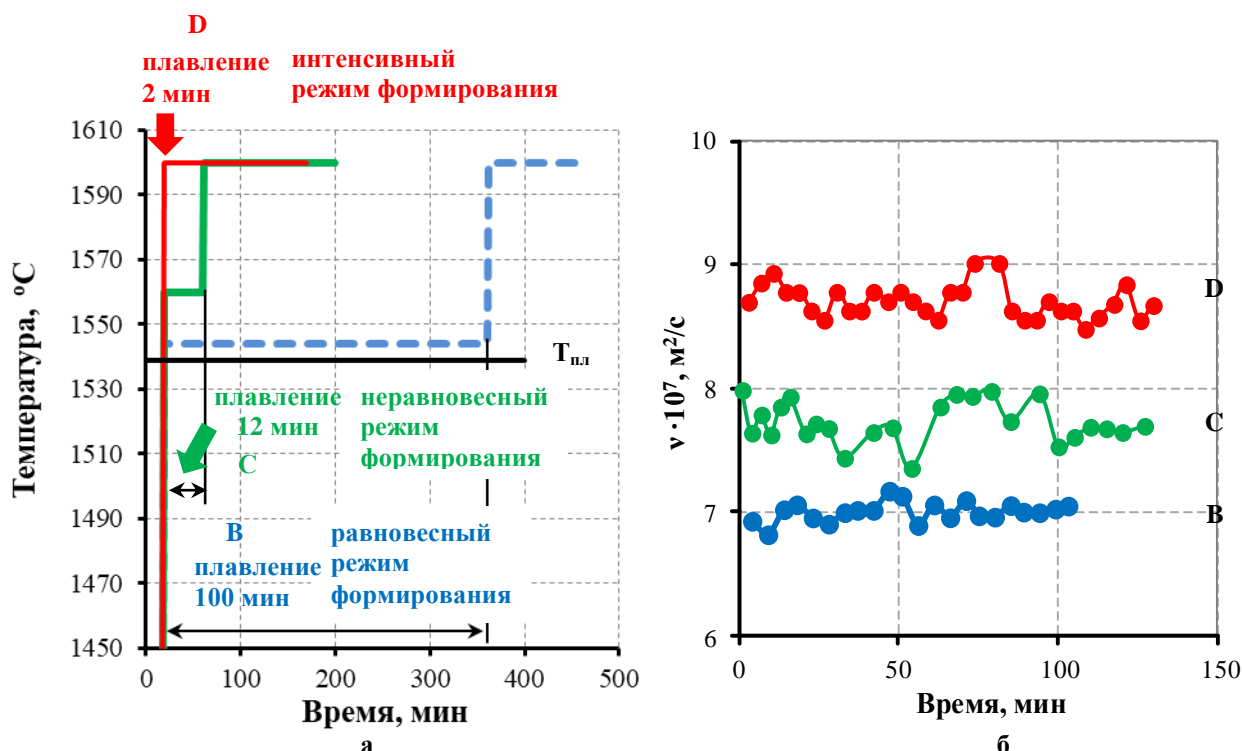


Рис.1. Режимы формирования (а) и фиксируемый в условиях изотермической выдержки при 1600 °С уровень вязкости расплава железа (б)

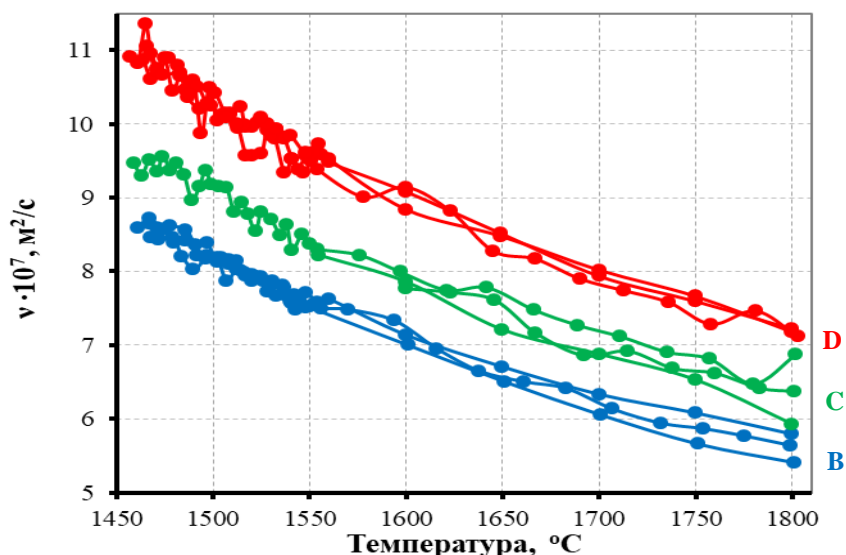


Рис.2. Зависимости от температуры кинематической вязкости расплава чистого железа в условиях охлаждения

При этом уравнение Эйринга(2) [5] позволяет связать предэкспоненциальный множитель с энтропией активации вязкого течения, которая в его модели связана с энтропией подсистемы «дырок».

$$\eta = \frac{hN}{V} e^{-\frac{\Delta S^*}{R}} e^{-\frac{\Delta H^*}{RT}}, \quad (2)$$

где N – число Авогадро;
V – молярный объем;

ΔH^* , ΔS^* - энтальпия и энтропия активации.

Очевидно, подсистема «дырок» определяет свободный объем. Поэтому, с одной стороны, различным структурным состояниям может быть поставлена в соответствие, прежде всего, различная величина свободного объема и, соответственно, величина энтропии активации. С другой стороны, при постоянной природе межчастичных связей уравнение Эйринга предполагает наличие компенсационного эффекта (3), жестко связывающего изменение энтропии и энтальпии активации вязкого течения. Поэтому в соответствие различным структурным состояниям расплава наиболее корректно ставить различный характер этой зависимости.

$$\Delta S^* = a + b \cdot \Delta H^*, \quad (3)$$

где a и b – постоянные.

В результате обработки экспериментальных данных установлен различный характер взаимосвязи энтропии и энтальпии активации для различных уровней значений кинематической вязкости, что позволяет

более обоснованно поставить эти уровни в соответствии различным структурным состояниям расплава.

Таблица 2

Взаимосвязь энтальпии и энтропии активации вязкого течения для выделенных структурных состояний (обработка экспериментальных данных по Эйрингу)

Структурное состояние	Взаимосвязь ΔS и ΔH	Коэффициент корреляции	ΔH , Дж/моль	ΔS , Дж/(моль·К)
B	$\Delta S=0,0006 \cdot \Delta H - 39,332$	0,9997	41300	-14,55
C	$\Delta S=0,0006 \cdot \Delta H - 39,784$	0,9996	40200	-15,21
D	$\Delta S=0,0006 \cdot \Delta H - 41,178$	0,9998	41200	-16,46

При этом состояния с максимальным и минимальным уровнем вязкости квалифицированы по энтропии активации, соответственно, как состояния, характеризующиеся плотной и рыхлой упаковкой. По аналогии с характеристикой упаковки твердого состояния [1, 7] выделенные структурные состояния расплава железа могут быть идентифицированы соответственно как состояния с элементами преимущественно ГЦК или ОЦК подобной координации атомов во множественных координационных структурах жидкости [4]. В дальнейшем, для простоты изложения, выделенные структурные состояния квалифицированы как ГЦК и ОЦК подобные состояния.

В ходе исследований установлены различная степень устойчивости структурных состояний и возможность структурных переходов для расплава железа в условиях значительного перегрева над температурой плавления (рисунок 3). Анализ экспериментальных данных позволил выделить в качестве наиболее

лее устойчивых для расплава чистого железа структурные состояния с наиболее рыхлой упаковкой (реализуемое при режимравновесного плавления В) и с наиболее плотной упаковкой (реализуемое при режиминтенсивного плавления D).

В результате исследования механических свойств образцов твердого металла установлено, что кристал-

лизация чистого железа из этих структурных состояний расплава приводит к различному уровню механических свойств твердого металла. При этом тенденция совпадает с выделенным характером взаимосвязи для сталей[2]: с увеличением уровня значений кинематической вязкости перед кристаллизацией пластичность твердого металла растет, а прочность падает.

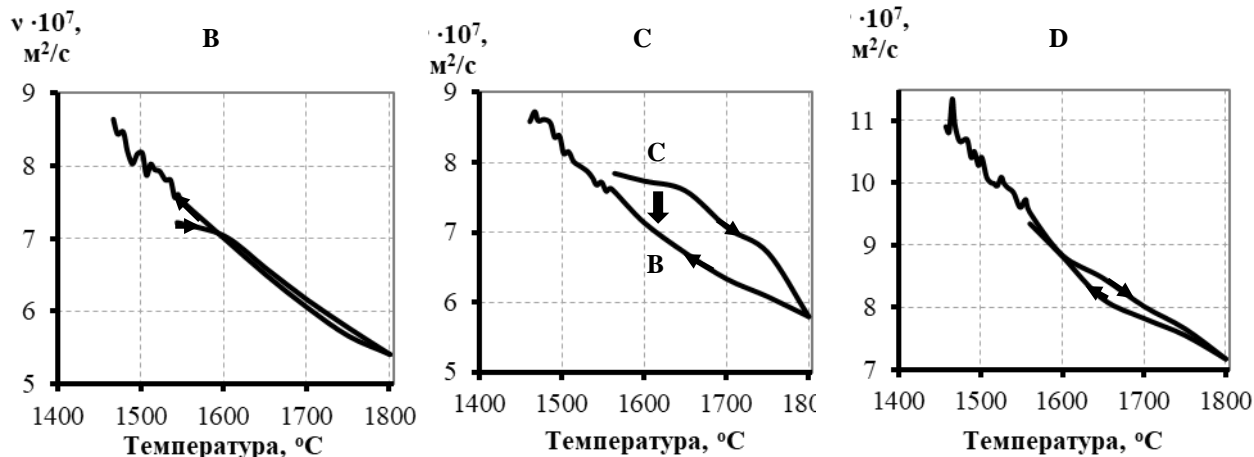


Рис. 3. Устойчивость структурных состояний расплавов железа в условиях перегрева

Таблица 3
Механические свойства чистого железа

Структурное состояние расплава	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
В	100-130	160-180	21-32
D	75-110	145-165	41-44

Влияние легирующих элементов на структурное состояние расплава железа исследовали в режиме интенсивного плавления, реализующего для жидкого железа ГЦК-подобное структурное состояниеD.

Установлено (рисунок 4-а), что присутствие углерода в расплаве железа:

- способствует стабилизации ГЦК-подобной структуры расплава,

- повышает уровень вязкости за счет электронного взаимодействия с атомами железа, что определяет отрицательное отклонение от идеальности поведения углерода в расплаве железа с отмеченной структурой.

Хорошо известна стабилизация ферритного состояния твердого железа при растворении кремния [1, 7]. Из приведенных данных (рисунок 4-а) следует, что и в жидком железе добавка кремния способствует дестабилизации ГЦК-подобного структурного состояния с переходом к координации рыхлой упаковки. В то же время зависимость для расплава железо-кремний лежит выше изотермы для железа при режиме формирования расплава, реализующем ОЦК-подобное структурное состояниеВ, что свидетельствует о достаточно высокой степени электронного взаимодействия кремния с атомами железа в ОЦК-

подобной координации и существенном снижении активности кремния в железе.

Несмотря на имеющиеся по твердому состоянию данные об изоморфизме ванадия с ОЦК структурой железа [1, 7], не установлено дестабилизирующее влияние ванадия на ГЦК-подобное структурное состояние D (рисунок 4-б). Это может быть связано с образованием жидких растворов замещения в условиях разупорядочения при плавлении и ослаблением влияния ванадия на электронное состояние исходного расплава. При этом установленное практическое совпадение изотерм расплава железа и железо-ванадий может указывать на близость раствора ванадия в железе к идеальному.

Обсуждаемые вопросы имеют прямое отношение к технологическим задачам получения расплавов, кристаллизация из которых определяет реализацию наиболее высокого уровня свойств твердого металла. Согласно существующим представлениям, для сталей и сплавов наилучший комплекс эксплуатационных свойств может быть поставлен в соответствие максимально возможной вязкости расплава перед кристаллизацией[2].

Представленные результаты исследований позволяют рассматривать интенсивность плавления как эффективный технологический инструмент воздействия на структурное состояние расплава и эксплуатационные свойства твердого металла. Это нашло подтверждение в промышленных условиях

В результате исследований качества стали в процессе совершенствования энергетических параметров ДСП установлено существенное влияние на струк-

турное состояние расплавов и свойства стали режима интенсификации выплавки полупродукта (рисунок 5).

Показано, что интенсификация нагрева металла при выплавке полупродукта повышает уровень вязкости расплава и пластичность готовой стали.

При легировании и микролегировании металла

уровень свойств готовой стали в существенной мере определяется не только структурным состоянием исходного расплава, но и его равновесностью. На рисунке 6 представлены данные по равновесности двух разновидностей расплавов Fe-C(0,1%) высоковязкого

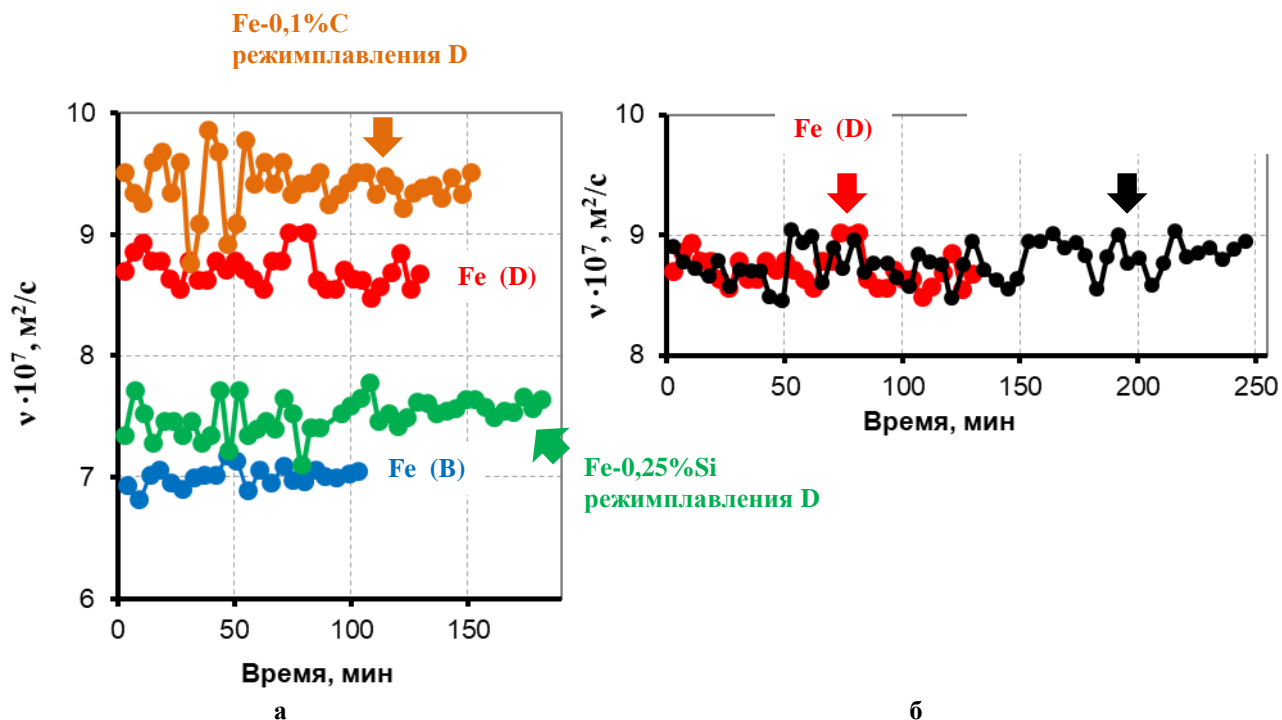


Рис. 4. Влияние углерода, кремния и ванадия на структурное состояние расплавов железа

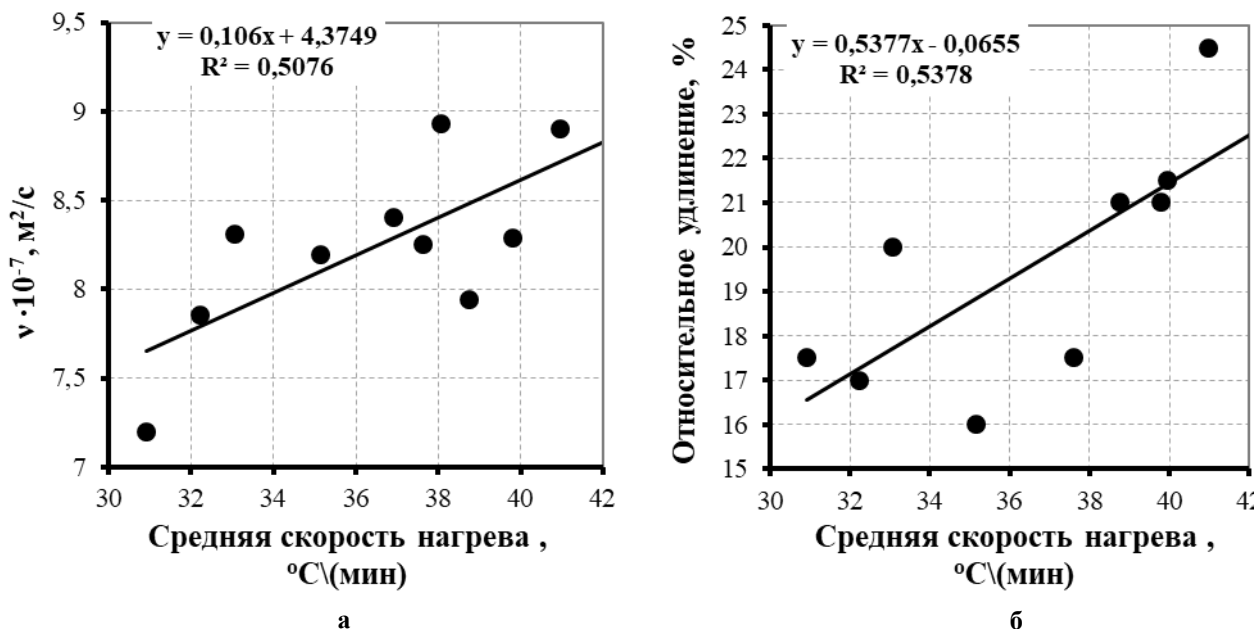


Рис. 5. Влияние интенсивности нагрева при выплавке полупродукта в ДСП на кинематическую вязкость расплава (а) и пластичность (б) стали Д.

структурного состояния (типа D) перед микролегированием ванадием (до 0,2%V). Первая разновидность структурного состояния расплава (а) отличается ярко выраженными осцилляциями, отражающими его неравновесность, и характерна для металла с использованием первородной шихты. Вторая разновидность структурного состояния (б) отличается стабильностью

значений вязкости, указывающей на его равновесность, и характерна для оборотной шихты.

Установлено, что неравновесность исходного железоуглеродистого расплава предопределила после микролегирования ванадием (0,2%) в 2 раза больший уровень прочностных характеристик твердого металла (таблица 4).

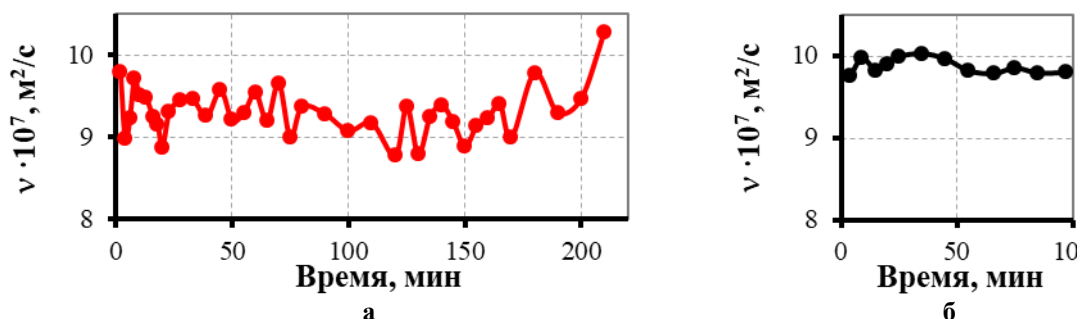


Рис. 6. Состояние расплавов Fe-C(0,1%) перед легированием ванадием:

- а – неравновесный расплав: науглероживание чистого железа;
- б – равновесный расплав: плавление твердого раствора, предварительно подвергнутого перегреву, длительной изотермической выдержке и кристаллизации.

Таблица 4
Механические свойства сплава Fe –C(0,1%)– V(0,2%) после кристаллизации

Состояние исходного железоуглеродистого расплава перед микролегированием	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
неравновесный	275	360	16
равновесный	95	180	33

структурным состоянием расплава железа. Показаны возможности структурных исследований расплавов при термодинамической характеристике растворов и расширения спектра технологических решений по повышению качества стали и сплавов.

Список литературы

1. Электронное строение и термодинамика сплавов железа / В.К. Григорович. - М.: «Наука», 1970. – 292 с.
2. Жидкая сталь / Б.А.Баум, Г.А. Хасин, Г.В. Тягунов и др. - М.: Metallurgy, 1984. - 208 с.
3. Bernal J.D. The structure of liquids // Proc. Roy. Soc. 1964. A280. P.299-322.
4. Крапошин В.С., Талис А.Я. Симметричные основы полимерной модели плотноупакованных металлических жидкостей и стекол // Расплавы. -2016. – №2. - с.85-98.
5. Реология. Теория и приложения / Пер. с англ. под общей ред. Ю.Н.Работнова и П.А.Ребиндера; Под редакцией Ф.Эйриха. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.- с.824.
6. Залкин В.М., Крапошин В.С. Строение железоуглеродистых расплавов. О стабильности цементита в расплавах // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. – 2010. - №1(655). –с. 15-18.
7. Металлическая связь и структура металлов /В.К. Григорович. - М.: «Наука», 1988. – 296 с.

Это может быть связано с тем, что в неравновесном расплаве не завершён процесс формирования раствора внедрения и значительная часть углерода находится в расплаве в обособленном высокоактивном состоянии, способствующем образованию карбидов ванадия и упрочнению. Возможность подобного распределения углерода по элементам упаковки расплава высказаны и в работе [6].

Полученные результаты указывают на целесообразность использования первородной шихты для повышения эффективности микролегирования стали.

Выводы

Впервые установлена возможность существования для расплавов железа спектра подобных структурных состояний. Выявлены различия структурных состояний растворов железа с ванадием, кремнием и углеродом и установлена их взаимосвязь с исходным

Сведения об авторах

Бурмасов Сергей Петрович - профессор кафедры «Металлургия железа и сплавов» ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», к.т.н. (г. Екатеринбург, Россия). E-mail: s.p.burmasov@urfu.ru

Гудов Александр Геннадьевич - доцент кафедры «Металлургия железа и сплавов», к.т.н. ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия). E-mail: a.g.gudov@urfu.ru

Смирнов Леонид Андреевич - академик РАН, главный научный сотрудник ФГБУН Институт Metallургии УрО РАН » (г. Екатеринбург, Россия). E-mail: uim@ural.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRUCTURAL STATES OF IRON MELT AND ITS SOLUTIONS WITH VANADIUM, SILICON AND CARBON

Burmasov Sergei Petrovich - Professor, Department “Metallurgy of iron and alloys”, Cand. Sci. (eng.) Institute of Materials Science and Metallurgy, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Yekaterinburg, Russia). (343) 3754464. E-mail: s.p.burmasov@urfu.ru

Gudov Alexander Gennadyevich - Associate Professor, Department “Metallurgy of iron and alloys”, Cand. Sci. (eng.) Institute of Materials Science and Metallurgy, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Yekaterinburg, Russia). E-mail: a.g.gudov@urfu.ru

Smirnov Leonid Andreevich - Academician of RAS, Chief Researcher Metallurgy Institute of the Urals subdivision of RAS (Yekaterinburg, Russia). E-mail: uim@ural.ru

Abstract. *An opportunity of the spectra of conformable structural states in the iron melt, obtained with the different temperature and rate conditions of formation, varied by mutually compensated values of the entropy and viscous flow activation energy, was ascertained by high-temperature viscometry methods.*

Permanence of the states and conditions of the mutual conversions were researched; two of the most stable states, typical for the cases of low- and high-intensive heating and fusion, conditionally qualified correspondingly as spongy and closely packed by the viscosity level and the value of entropy contribution into free energy of the viscous flow, were separated out.

Peculiarities of the structural states of iron solutions with vanadium, silicon and carbon were developed and its relationship with initial structural state of the iron melt was determined. Possibilities of the structural investigations of the melts with thermodynamic parameters of solutions were indicated. Particularly, the summary on non-idealness of the carbon and silicon solutions in iron, as well as vanadium behaviour in such solutions, close to ideal, were confirmed qualitatively.

Correlation of the solid metal properties with the structural state peculiarities of the melts were established and the ways of technological implementation of the steel quality improvement reserves with micro-alloying were outlined.

An opportunity of the spectra of conformable structural states in the iron melt was determined for the first time. Differences of the structural states of iron solutions with vanadium, silicon and carbon were developed and its relationship with initial structural state of the iron melt was determined. Possibilities of the structural investigations of the melts with thermodynamic parameters of solutions were indicated. Manufacturing approaches on increasing the quality of steels and alloys were extended..

Keywords: iron melt, high-temperature viscometry, structural states, solution, thermodynamic parameters, micro-alloying, steel quality

Ссылка на статью:

Структурные состояния расплава железа и его растворов с ванадием, кремнием и углеродом / Бурмасов С.П., Гудов А.Г., Смирнов Л.А. // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 21-27.
Burmasov S.P., Gudov A.G., Smirnov L.A. Structural states of iron melt and its solutions with vanadium, silicon and carbon. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 21-27.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 621.74

Никитенко О.А., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТИРОВАННОГО ФЕРРОВАНАДИЯ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА

Аннотация. В представленной работе приведены результаты исследований микроструктуры высокомарганцевой стали, микролегированной азотированным феррованадием. Рассмотрено совместное влияние тепловых условий кристаллизации и охлаждения отливки, а также азотированного феррованадия на размер зерна аустенита, его анизотропию. Кроме того, рассмотрено влияние этих двух факторов на микротвёрдость аустенита.

Ключевые слова: высокомарганцевая сталь, азотированный феррованадий, аустенит, коэффициент анизотропии, термическая обработка.

Введение

Уровень эксплуатационных свойств литых изделий, работающих в условиях интенсивного изнашивания, определяется в первую очередь химическим составом сплава [1 - 4]. Именно он определяет параметры микроструктуры литых изделий, её способность сопротивляться изнашиванию, эволюцию микроструктуры в процессе термической обработки.

Однако параметры микроструктуры также определяются тепловыми условиями формирования отливки в литейной форме. Под тепловыми условиями понимается совокупность процессов теплообмена и теплопередачи в системе отливка-форма, которые, в свою очередь, определяют скорость охлаждения расплава при первичной и вторичной кристаллизациях [5 - 13].

Эти два фактора оказывают совместное влияние на качественные и количественные характеристики микроструктуры, например: легирующий карбидообразующий элемент в зависимости от условий охлаждения сплава может выделяться в составе самостоятельного или комплексного карбида, либо быть растворённым в аустените. Кроме того, скорость охлаждения расплава в процессе кристаллизации определяет соотношение скоростей зарождения центров кристаллизации и их укрупнение. На этот процесс также влияет химический состав сплава.

В условиях производства тепловые условия охлаждения отливки в литейной форме определяются габаритами и массой изделия, толщиной стенки формы и самого изделия, а также многими другими факторами.

Цель представленной работы: изучить совместное влияние азотированного феррованадия и тепловых условий формирования литого изделия на параметры микроструктуры, а также их изменения в процессе термической обработки.

Методика эксперимента

Экспериментальные сплавы для изучения струк-

туры и свойств выплавляли в индукционной печи ИСТ-006 с основной футеровкой. Исследования проводили на стандартных образцах с размерами 35×35×10 мм. Для реализации различных скоростей охлаждения сплав заливали в разные типы форм: сухую и сырую песчано-глинистую, кокиль. Регистрацию изменения температуры металла проводили с помощью заформованной вольфрам-рениевой термопары, запись результатов осуществляли на приборе LA-50USB с частотой 50 Гц на каждый канал.

Экспериментальные образцы перед проведением исследований закаливали в воде от температуры 1100 °С.

Химический состав образцов определяли на спектрометре SPECTROMAXX.

Определение размеров зерен и количественный анализ проводили на оптическом микроскопе Meiji с помощью программы Ticsomet Standart Pro по ГОСТ 5639-82. Для микроанализа из образца по стандартной методике были приготовлены микрошлифы путём запрессовки образцов в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Buechler. Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергали травлению в 4 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом.

Микротвёрдость определяли на твердомере Buchler Mikromet в соответствии с ГОСТ 9450-60 методом вдавливания алмазной пирамидки с углом между противоположными гранями 136° при нагрузке 200 г и длительности нагружения 10 с. Твёрдость определяли на твердомере EmcoTest M4C 075 G3 в соответствии с ГОСТ 9013-59.

Результаты исследований

В ходе проведения экспериментов была получена серия образцов, легированных азотированным феррованадием. Химический состав образцов представлен в таблице.

Химический состав экспериментальных образцов

Номер сплава	Содержание химических элементов, %						
	C	Si	Mn	P	S	V	Al
1*	1,15	1,05	11,6	0,040	0,030	-	0,08
2	1,20	0,68	11,6	0,055	0,035	0,085	0,06
3	1,00	0,87	11,9	0,047	0,053	0,175	0,04
4	1,00	0,69	11,6	0,054	0,052	0,290	0,06
5	1,20	0,84	11,5	0,053	0,043	0,380	0,06

* Базовый нелегированный сплав.

Ранее было установлено, что максимальной износостойкостью обладает сплав, легированный азотированным феррованадием с остаточным содержанием ванадия в пределах 0,1 – 0,2 % и азота 0,023 – 0,062 % [3, 4, 14]. При дальнейшем увеличении концентрации ванадия абразивная износостойкость практически не меняется до содержания 0,4 %, а ударно-абразивная – снижается на 25,3 – 46,5 % в зависимости от тепловых условий, при которых была сформирована литая структура высокомарганцевой стали в процессе кристаллизации и охлаждения [15].

Скорость охлаждения расплава в литейной форме (тепловые условия формирования отливки) влияет на параметры литой микроструктуры стали Гадфильда, которая, в свою очередь, определяет её характеристики и уровень свойств после термической обработки [5 – 8, 14]. При одном и том же содержании ванадия и азота в сплаве (0,18 и 0,045 % соответственно) коэф-

фициент абразивной износостойкости изменяется от 1,48 до 1,69 ед., а ударно-абразивной – от 2,25 до 2,45 ед. Причём, чем выше скорость охлаждения расплава в литейной форме, тем выше коэффициент износостойкости. Это характерно для экспериментальных образцов не только в литом состоянии, но и после термической обработки.

Для изучения комплексного влияния азотированного феррованадия и тепловых условий формирования отливки на параметры микроструктуры провели металлографические исследования.

Влияние азотированного феррованадия на зерно аустенита оценивали с помощью двух показателей – размер зерна и коэффициент анизотропии.

Влияние ванадия на размер зерна аустенита и его коэффициент анизотропии с учётом скорости охлаждения отливки при кристаллизации представлено графически на рис. 1.

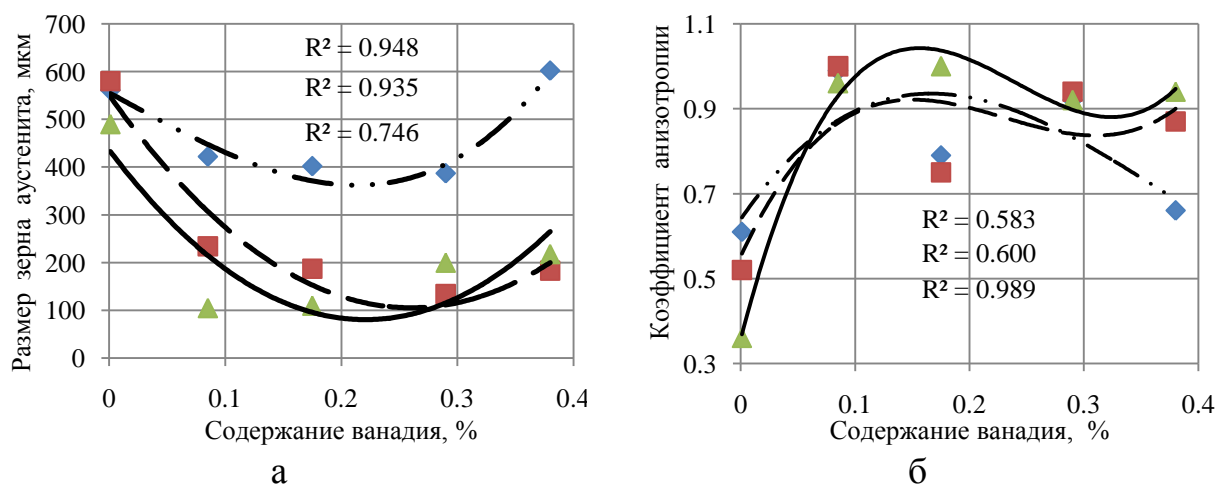


Рис. 1. Зависимость размера и коэффициент анизотропии зерна аустенита от содержания ванадия в сплаве при скоростях охлаждения:
 - . . . - 4,5 °C/c; - - - - 8,9 °C/c; - - - - 25 °C/c

Добавка азотированного феррованадия в расплав стали марки 110Г13Л, обеспечивающая остаточную концентрацию ванадия 0,085 %, способствует снижению размера зерна на 24 – 78 % по сравнению с отливками из нелегированной высокомарганцевой стали. При увеличении скорости охлаждения расплава в литейной форме повышается степень уменьшения размера зерна аустенита в процентном отношении по

сравнению с базовым составом сплава. То есть для отливок, охладившихся со скоростью 4,5 °C/c, разница в размерах зерна аустенита базового сплава и стали, содержащей 0,085 % ванадия, составляет 61 %, для сплавов, скорость охлаждения которых в интервале кристаллизации была равна 8,9 °C/c, эта разница составляет 68 %, а для скорости охлаждения 25,0 °C/c – 85 % (рис. 2).

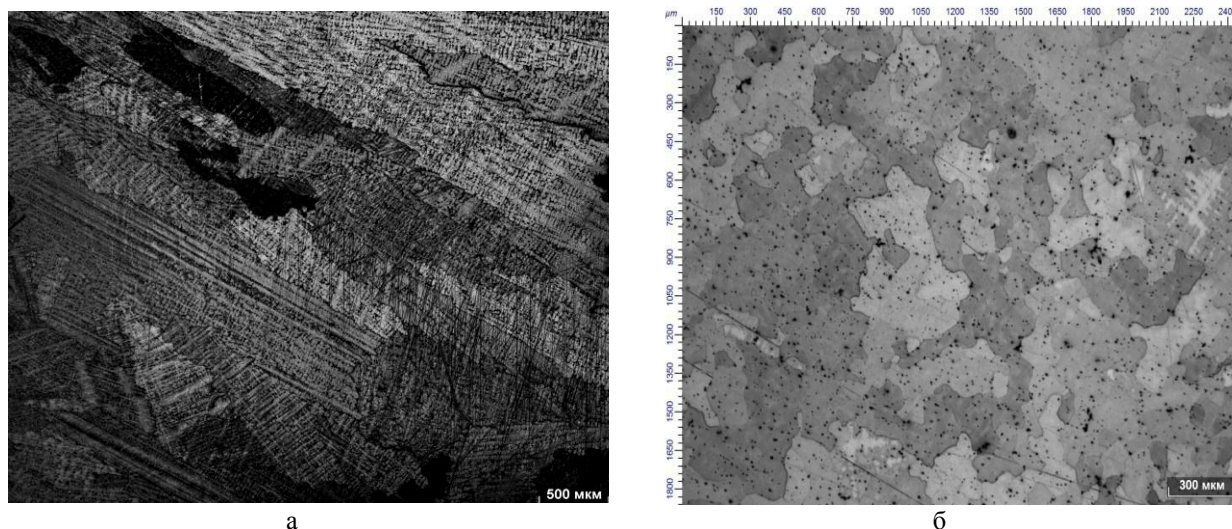


Рис. 2. Фотографии микроструктуры высокомарганцевой стали без ванадия (а) и легированной азотированным феррованадием с его остаточной концентрацией 0,085 % (скорость охлаждения в интервале кристаллизации 4,5 °С/с)

Увеличение концентрации ванадия и азота свыше 0,085 и 0,023 % соответственно приводит к увеличению размера зерна аустенита в литой структуре, что закономерно приводит к его увеличению и в термообработанных отливках. Повышение концентрации ванадия до 0,38 % приводит к скачкообразному увеличению размера зерна аустенита на 55, 36 и 9 % для структур термообработанных отливок, кристаллизация которых в литом состоянии проходила со скоростями 4,5, 8,9 и 25,0 °С/с.

Легирование азотированным феррованадием оказывает влияние на коэффициент анизотропии зерна аустенита, характеризующий отношение длины к ширине (рис. 1, б).

Для базового, не легированного сплава коэффициент анизотропии варьируется в пределах 0,36 – 0,61 в зависимости от скорости охлаждения расплава в литой форме. Чем выше скорость охлаждения, тем ниже значение коэффициента. Это обусловлено градиентом температур, возникающим на границе раздела металл-форма.

После добавки азотированного феррованадия в расплав высокомарганцевой стали происходит увеличение значения этого коэффициента анизотропии с 0,36 – 0,61 до 0,66 – 1,0. То есть зерно аустенита приобретает более округлую форму при введении азотированного ферросплава, обеспечивающего остаточную концентрацию ванадия на уровне 0,085 %, и сохраняет эти пропорции вплоть до увеличения концентрации ванадия в сплаве до 0,38 %. При концентрации ванадия 0,38 % всё же происходит незначительное

снижение исследуемого коэффициента.

В процессе кристаллизации и охлаждения высокомарганцевой стали в литой форме легирующие элементы, входящие в её состав, могут распределяться между твёрдым раствором и вторичной фазой. При больших скоростях охлаждения расплава в температурном интервале выделения избыточных фаз легирующие элементы не успевают выделяться в виде вторичной фазы, оставаясь растворёнными в аустените. В результате меняется количество карбидов, образованных различными элементами, а также их соотношение. В процессе нагрева под закалку карбиды растворяются в аустените, а при погружении отливки в охлаждающую жидкость (воду) происходит их частичное выделение. В результате происходит общее снижение количества карбидной фазы (рис. 3)

Изменение степени легированности аустенита сказывается на его микротвёрдости (рис. 4).

Микротвёрдость аустенита непрерывно повышается по мере увеличения концентрации ванадия в химическом составе высокомарганцевой стали.

Влияние скорости охлаждения проявляется не только в литых отливках, но и в термически обработанных, так как характеристики микроструктуры высокомарганцевой стали после закалки определяются её исходным состоянием. В зависимости от скорости охлаждения сплава в температурном интервале выделения вторичных фаз микротвёрдость изменяется от 11 до 16 %.

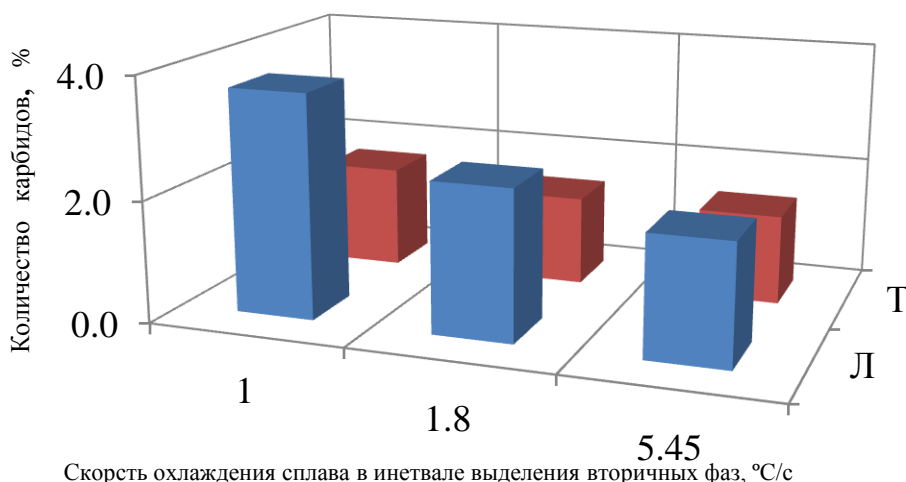


Рис. 3. Количество карбидов в высокомарганцевой стали в зависимости от скорости охлаждения расплава в форме и состоянии отливки: Л – литое; ТО – после термической обработки

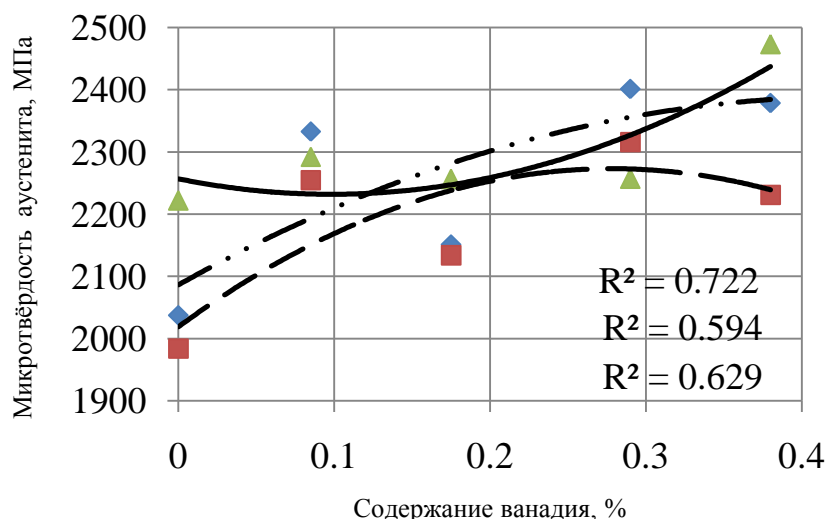


Рис. 4. Влияние ванадия и скорости охлаждения сплава на микротвёрдость стали Гадфильда:

— · · · — - 1,0 °C/c; - - - - - 1,8 °C/c; ————— - 5,45 °C/c

Выводы:

1. Микролегирование высокомарганцевой стали азотированным феррованадием оказывает положительное влияние на абразивную и ударно-абразивную износостойкость, обеспечивая максимальный уровень этих свойств при концентрации ванадия в пределах 0,1 – 0,2 % и азота 0,023 – 0,062 %.

2. Добавка азотированного феррованадия в высокомарганцевую сталь, обеспечивающая остаточную его концентрацию на уровне 0,1 – 0,2 %, способствует снижению размера зерна аустенита с 550 – 600 до 100 – 200 мкм по сравнению с базовым нелегированным сплавом. Повышение остаточной концентрации ванадия в сплаве свыше 0,3 % приводит к росту зерна ау-

стенита практически до первоначальных значений независимо от скорости охлаждения сплава.

3. Металлографическим путём установили, что в интервале остаточных концентраций ванадия 0,1 – 0,3 % коэффициент анизотропии зерна аустенита близок к 1. В случае превышения указанного интервала коэффициент анизотропии зерна аустенита незначительно снижается.

4. Микротвёрдость аустенита непрерывно увеличивается по мере увеличения содержания ванадия во всём интервале концентраций от 1984 – 2222 МПа (не легированный сплав) до 2231 – 2473 (концентрация ванадия 0,38 %) независимо от скорости охлаждения отливки в литейной форме.

(Работа выполнена в рамках базовой части Государственного задания Минобрнауки России, согл. номер 17.1.18.2412.01 от 09.01.2017, д.с. номер 1 от 25.01.2017 публикац. номер 11.9305.2017/7.8).

Список литературы

1. Влияние легирования хромом на характеристики карбидной фазы литой высокомарганцевой стали / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, А.А. Нефедьев, А.А. Ахметова // Технические науки в мире: от теории к практике: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2016. С. 51-58.
2. Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Феоктистов Н.А. Исследование закономерностей формирования, морфологии и химического состава избыточной фазы в литой высокомарганцевой стали // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 7. С. 491-497.
3. Исследование влияния легирования и термической обработки на абразивную и ударно-абразивную износостойкость высокомарганцевой стали / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, В.П. Чернов, И.Б. Хренов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 11. С. 904-909.
4. Изучение влияния легирования стали Гадфильда ванадием на её эксплуатационные свойства / В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин, А.С. Савинов, Д.А. Дерябин, И.Б. Хренов // Сборник трудов по материалам III Всероссийской научно-практической конференции «Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение» (Чебоксары, 20 – 21 апреля 2017 г.) / под ред. д.т.н., проф. И.Е. Илларионова. Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2017. С. 145 – 150.
5. Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Феоктистов Н.А. Исследование влияния скорости охлаждения в интервале выделения избыточных фаз на литую микроструктуру стали Гадфильда // Металлургия: технологии, инновации, качество / под общ. ред. Е.В. Протопопова. Новокузнецк, 2015. С. 125-129.
6. Вдовин, К.Н. Изучение влияния скорости охлаждения на механические и эксплуатационные свойства стали 110Г13Л / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, И.Б. Хренов, Д.А. Дерябин // Литейщик России. 2015. № 12. С. 23-24.
7. Вдовин, К.Н. Исследование влияния скорости охлаждения при кристаллизации на размер аустенитного зерна литой стали 110Г13Л / К.Н. Вдовин, Д.А. Горленко, О.А. Никитенко, Н.А. Феоктистов // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10-2 (41). С. 28-31.
8. Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Феоктистов Н.А. Влияние энергии дефекта упаковки на абразивную износостойкость отливок из стали Fe – 12Mn - 1,2C, охлажденных с различными скоростями // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 9. С. 603-609.
9. Изучение качественных параметров литой структуры отливки «Зуб ковша экскаватора» / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, И.Б. Хренов, Д.А. Дерябин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол, 2015. С. 60-65.
10. Исследование влияние комплексного легирования высокомарганцевой стали, азотированной Ti-Sa лигатуры, на показатели абразивной износостойкости / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, И.Б. Хренов, Д.А. Дерябин // Теория и технология металлургического производства. 2016. № 2 (19). С. 58 – 64.
11. Исследование составов шлаков при выплавке стали Гадфильда / К.Н. Вдовин, О.Ю. Шешуков, Н.А. Феоктистов, А. А. Метелкин // Теория и технология металлургического производства. 2015. № 2 (17). С. 32 – 35.
12. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Технологический процесс производства брони из стали марки 110Г13Л в условиях ООО «Ремонтно-механический завод» // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 1 (14). С. 51 – 52.
13. Обзор результатов исследований, направленных на улучшение свойств отливок из высокомарганцевой стали / Е.В. Синицкий, А.А. Нефедьев, А.А. Ахметова, М.В. Овчинникова, И.Б. Хренов, Д.А. Дерябин // Теория и технология металлургического производства. 2016. № 2 (19). С. 45 – 57.
14. Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Gorlenko D.A. Influence of Heat Treatment on Wear Resistance of Alloyed Hadfield Steel and Phase Transformations in it // Materials Science Forum. Vol. 265, 2017, pp. 640-645.
15. Doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.265.640.
16. Исследование механических и эксплуатационных свойств высокомарганцевой стали, легированной азотированным феррохромом / В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин, В.П. Чернов, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 3. С. 46 – 54.

Сведения об авторах

Никитенко Ольга Александровна. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; инженер-исследователь научно-исследовательского сектора; канд. техн. наук.

Феоктистов Николай Александрович. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; доцент кафедры технологии металлургии и литейных процессов; канд. техн. наук.

Горленко Дмитрий Александрович. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; ст. преп. кафедры технологии металлургии и литейных процессов; канд. техн. наук.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STUDY OF THE INFLUENCE OF NITRATED FERROVANADIUM ON THE PARAMETERS OF MICROSTRUCTURE CASTINGS OF HADFIELD STEEL

Nikitenko Olga Aleksandrovna - PhD (Eng.), engineer-researcher of research sector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Feoktistov Nikolai Aleksandrovich – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Fna87@mail.ru

Gorlenko Dmitriy Aleksandrovich – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. *In the given paper the results of studies of the microstructure of high-manganese steel micro-alloyed with nitrided ferrovandium are presented. The cooperative influence of the crystallization thermal conditions and cooling of the casting, as well as nitrided ferrovandium on the austenite grain size and its anisotropy is considered. In addition, the influence of these two factors on the micro hardness of austenite is established.*

Keywords: *high-manganese steel, nitrided ferrovandium, austenite, anisotropy coefficient, heat treatment.*

Ссылка на статью:

Изучение влияния азотированного феррованадия на параметры микроструктуры литых изделий из стали гадфильда / Никитенко О.А., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А.// Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 28-33.
Nikitenko O.A., Feoktistov N.A., Gorlenko D.A. Study of the influence of nitrided ferrovandium on the parameters of microstructure castings of hadfield steel// *Teoria i tehnologia metallurgiheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 28-33.

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК УДК 669.15 – 194.56: [621.744.079 : 666.76.32]

Вдовин К.Н., Смирнов А.Н., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛОМА МАГНЕЗИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ПРОТИВОПРИГАРНОЙ КРАСКИ ДЛЯ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА

Аннотация. Важнейшая задача при литье в песчано-глинистые формы – получение чистой поверхности стальных отливок. В представленной работе показана возможность замены металлургического магнезита на лом высокомагнезиальных периклазовых огнеупоров. Термическим методом установлено присутствие свободного оксида кальция в периклазовых порошках. Исследованы процессы гидротации магнезита в водной среде.

Ключевые слова: марганцовистая сталь, пригар, краска, периклаз, магнезит, гидротация, огнеупорный лом.

Одним из наиболее широко применяемых материалов для изготовления деталей в горнорудной, угольной, цементной и других отраслях промышленности, связанных с переработкой высокоабразивного минерального сырья (руды, угля, песка и др.), износ которых сопровождается большими ударами и давлением, является аустенитная марганцовистая сталь Гадфильда (110Г13Л).

Сталь 110Г13Л выплавляют преимущественно в дуговых печах с основной футеровкой с последующей заливкой в песчано-глинистую форму (ПГФ) [1 – 4]. Получение хорошей поверхности без пригара на стальных отливках из стали Гадфильда весьма затруднительно. ПГФ смеси не могут решить полностью этой задачи, так как в залитой жидким металлом форме происходит химическое взаимодействие между оксидами железа (II) и кремния (FeO и SiO_2), с одной стороны, и кремнеземом с оксидом марганца (II) (MnO) - с другой. Образующиеся в результате этих реакций легкоплавкие силикаты фаялит ($2FeO \cdot SiO_2$) и тефрит ($2MnO \cdot SiO_2$) после затвердевания цементируют зерна песка в слои пригара [5 – 8].

При производстве отливок из стали 110Г13Л хорошо зарекомендовали себя магнезитовые краски. Они защищают рабочие поверхности формы от непосредственного соприкосновения с расплавом. Находящийся в краске высокоогнеупорный наполнитель, а именно металлургический магнезит (MgO), хорошо выдерживает высокую температуру расплава, взаимодействует с оксидом железа с образованием магнезиоферрита ($MgO \cdot Fe_2O_3$), обладающего высокой температурой плавления ($1750^\circ C$), что обуславливает отсутствие жидкой фазы на поверхности раздела металл – форма и тем самым способствует устранению пригара.

В промышленности магнезит применяют в основном после предварительного обжига природного

минерала магнезита ($MgCO_3$). При обжиге до $750 - 1000^\circ C$ магнезит теряет $92 - 94\%$ диоксида углерода (CO_2) и превращается в оксид магния, представляющий собой белую аморфную порошокатую массу (каустический магнезит). При более высокой температуре обжига ($1500 - 1600^\circ C$) удаляется практически весь CO_2 , оксид магния претерпевает перестройку молекулярной структуры и переходит в устойчивую форму – периклаз. Таким образом, образуется плотный, спекшийся инертный продукт, называемый «намертво» обожженным магнезитом или металлургическим магнезитом. Природный магнезит достаточно дорогой и дефицитный материал.

Проблема дефицита магнезиального сырья для противопригарных красок может быть решена путем замены металлургического магнезита на отходы лома высокомагнезиальных периклазовых огнеупоров (ЗПСпу). В этом случае будет обеспечено не только предотвращение пригара, но и возможность решения таких насущных проблем современного производства, как рециклинг и утилизация отходов, расширение сырьевой базы и экологические проблемы.

Анализ существующих в ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) магнезиальных огнеупорных отходов показал, что потенциальным наполнителем для литейных красок может служить вместо металлургического магнезита лом безобжиговых периклазоуглеродистых изделий – футеровки сталеразливочных ковшей конвертеров. В качестве сырья для них применяют спеченные или плавленые периклазовые порошки с минимальным количеством кремния. Углеродсодержащим компонентом чаще всего служит графит разных марок (тигельный, литой, элементный), а связкой – фенольное порошкообразное связующее (ФПС) [9].

Спеченные и плавленые периклазовые порошки имеют высокую огнеупорность, шлакоустойчивость, способность сохранять постоянство объема при длительном воздействии высоких температур, практически не реагируют с водой. Однако надо иметь в виду,

© Вдовин К.Н., Смирнов А.Н., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б., 2018

что и такой магнезит слабо гидратируется и при затворении его водой схватывается, что может привести к загущению водной противопригарной краски и, как следствие, ухудшению её технологических свойств.

Целью представленной работы является исследование физико-химических свойств лома периклазоуглеродистых огнеупоров, в частности процесса гидратации.

Объектами исследования являются лом спеченного периклазоуглеродистого огнеупора и металлургический магнезит.

Главным фактором, определяющим качество периклазовых порошков, является наличие достаточного количества оксида магния не менее 85 %, а также отсутствие в нем свободного оксида кальция (CaO). Связано это с тем, что порошки, изготовленные из магнезитов, даже с незначительным содержанием свободного CaO (извести) при хранении и затворении водой гидратируются. Химический состав исследуемых образцов выполнен на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Quant`X и представлен в табл. 1.

Таблица 1
Химический состав магнезиальных огнеупорных наполнителей

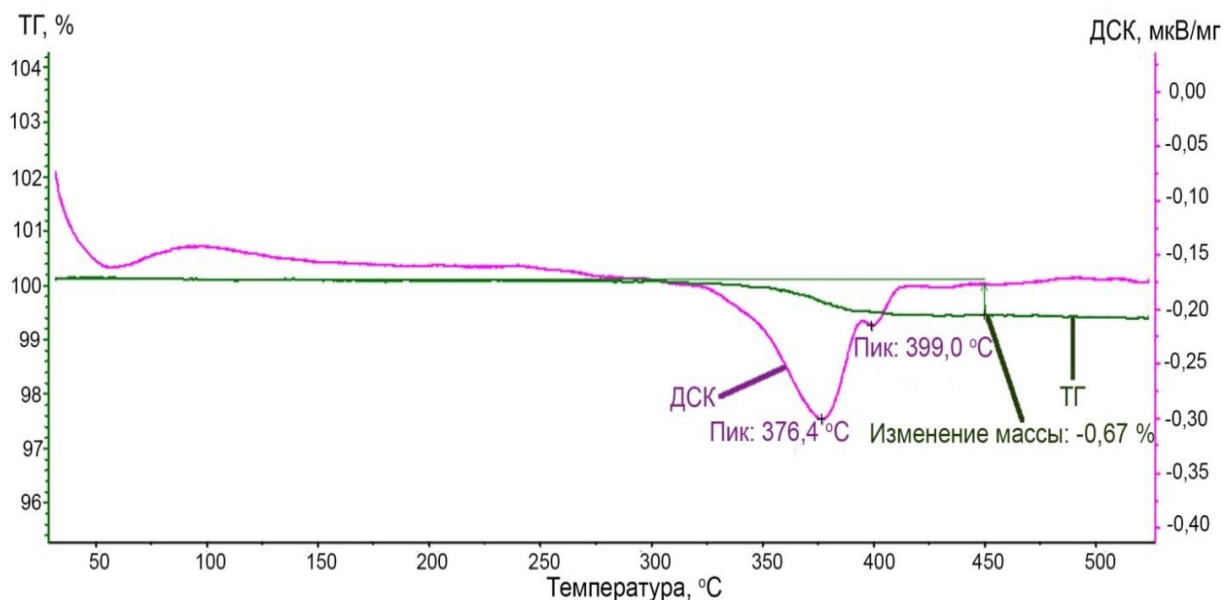
Наименование материала	MgO	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C*
Металлургический магнезит	85,0	5,68	3,54	3,23	1,28	0,22
ЗПСпу	85,3	4,02	2,32	0,92	0,30	8,38

* Углерод определяли ИК – спектрометрическим методом.

Из данных табл. 1 видно, что содержание основной фазы (периклаза) в исследуемых образцах практически одинаково и составляет 85 %. При этом общее содержание CaO (связанного и свободного) в ломе спеченного периклазоуглеродистого огнеупора ниже, чем в металлургическом магнезите. Как сказано выше, вредной и нежелательной примесью является свободный CaO, его присутствие определяли термическим методом на приборе STA (Jupiter 449 F3) фирмы «NETZSCH», который позволяет одновременно из одной навески проводить два вида анализа: термогравиметрический (ТГ) и дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК).

Исследования металлургического магнезита показали (см. рисунок), что в его состав входит гидратируемый MgO и CaO, о чем свидетельствуют эндоэффекты при 376 и 399 °С соответственно. Удаление гидратной воды из этих минералов отмечается убылью массы на кривой ТГ в интервале температур 300 – 450 °С и составляет 0,67 %.

Известно, что гидратация периклазового магнезита усиливается в присутствии свободного CaO в водной среде. Для изучения процессов гидратации периклазовые порошки фракции 0,05 – 0,00 мм затворяли технической водой при комнатной температуре в количестве, обеспечивающим влажность смеси, равную 20 – 23 % и плотность 1,4 – 1,8 г/см³, что соответствует требованиям магнезитового противопригарного покрытия на водной основе марки ВПК-90М по ТУ 1523-008-95197502-2008, ТУ1523-020-95197502-2011.



Термограмма металлургического магнезита

Полученную дисперсионную смесь выдерживали в течение суток, затем отбирали пробы продуктов гидратации, сушили их при температуре 30 °С. Определяли количество химически связанной (гидратной) воды методом инфракрасной абсорбционной спектроскопии на анализаторе углерода и воды CW MULTISHASE при температуре 500 °С. По ее количеству оценивали степень гидратации периклазового наполнителя (табл. 2).

Таблица 2

Степень гидратации MgO
(по количеству связанной воды)

Наполнитель	Содержания воды, %	
	До гидратации	После гидратации
ЗПСпу	0,42	1,77
Металлургический магнезит	0,67	2,45

Как видно из данных табл. 2, в исследуемых образцах после гидратации содержание химически связанной воды увеличивается почти в 4 раза, что свидетельствует об усилении процессов гидратации магнезитового наполнителя в водной среде.

Однако наименьшее содержание воды отмечено для образца ЗПСпу. Это связано с тем, что в таких огнеупорных материалах частицы оксида MgO и твердого углеродсодержащего вещества (графита) прочно связываются в результате отверждения и коксования фенольного связующего и плохо смачиваются водой, что замедляет процессы гидратации. Несмотря на это, было отмечено схватывание водной дисперсии на основе лома периклазоуглеродистого огнеупора, так и металлургического магнезита, что привело к повышению ее вязкости. Поэтому, чтобы исключить процессы гидратации магнезитового наполнителя при изготовлении противопопригарных красок на его основе, предпочтительнее применять в качестве дисперсионной среды органические растворители, например изопропиловый спирт.

Таким образом, на основе проведенных исследований выявлена возможность применения в качестве наполнителя неводной противопопригарной краски для стали Гадфильда лома переклазоуглеродистых огнеупоров футеровки конвертеров при полном замещении им природного наполнителя – металлургического магнезита.

Применение лома периклазоуглеродистыми кирпичами позволит снизить стоимость краски и уменьшить нагрузку на экологическую обстановку региона.

Список литературы.

1. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А. Выплавка высокомарганцовистой стали в дуговой сталеплавильной печи. Внепечная обработка. Сообщение 2 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. № 1. С. 23 – 28.
2. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А. Выплавка высокомарганцовистой стали в дуговой сталеплавильной печи. Технология. Сообщение 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. № 10. С. 735 – 739.
3. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А. Влияние серы, кальция, алюминия на пластические свойства металла // Теория и технология металлургического производства, 2010. № 1. С. 107 – 113.
4. Вдовин К.Н., Косарева Э.А. Улучшение технологических свойств жидкостекольных формовочных смесей // Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки. 2013. №12. С. 151 – 156.
5. Давыдов Н.Г. Высокомарганцевая сталь. М.: Металлургия, 1979. 176 с.
6. Исследование влияния процесса кристаллизации стали марки 110Г13Л на её свойства /Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А., Дерябин Д.А., Хренов И.Б., Кондратьев И.С. // Литейные процессы. 2016. №14. С. 29 – 36.
7. Исследование механических и эксплуатационных свойств высокомарганцевой стали, легированной азотированным феррохромом /Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Чернов В.П., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А. // Вестник Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2016, № 3. с. 46 – 54.
8. Вдовин К.Н., Нефедьев А.А., Ахметова А.А. Фазовые превращения при нагреве легированной высокомарганцовистой стали // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. Вып.15. С. 94 – 98.
9. Сыч Л.Г., Пальчун Т.А., Миронова Л.В. Прогноз стойкости периклазоуглеродистых огнеупоров с помощью термического анализа // Сталь, 2002. №1. С. 32 – 33.

Сведения об авторах

Вдовин Константин Николаевич – ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; зав. кафедрой технологии металлургии и литейных процессов; д-р техн. наук, профессор. Магнитогорск, Россия. Тел.: 29-84-19. E-mail: Vdovin@magtu.ru

Смирнов Андрей Николаевич – ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; зав. кафедрой физической химии и химической технологии; д-р физ.-мат. наук, доцент. Магнитогорск, Россия. Тел.: 29-85-78. E-mail: sman@magtu.ru

Пивоварова Ксения Григорьевна – ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; доцент кафедры технологий обработки материалов (ТОМ); канд. техн. наук. Магнитогорск, Россия. Тел.: 29-85-12. E-mail: kgpivovarova@gmail.com

Понамарева Татьяна Борисовна – ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; инженер-лаборант инженерно-технического центра. Магнитогорск, Россия. Тел.: 58-06-44. E-mail: tatjana.ponamareva@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF MAGNESITE REFRACTORY AS A FILLER OF ANTIBURNING-ON PAINT FOR HADFIELD STEEL

Vdovin Konstantin Nikolaevich – D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru

Smirnov Andrey Nikolaevich – D. Sc. (Physical and Mathematical) Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-78. E-mail: sman@magtu.ru

Pivovarova Ksenia Grigorievna – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-12. E-mail: kgpivovarova@gmail.com

Ponamareva Tatyana Borisovna – Engineer-technician engineering-technical center, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 58-06-44. E-mail: tatjana.ponamareva@yandex.ru

Abstract. *The most important aim of metal pouring in sand-clay molds is an obtaining the clean surface of steel castings. The possibility of replacing metallurgical magnesite to scrap of high-magnesian periclase refractories is shown in the present work. The thermal method has established the presence of free calcium oxide in periclase powders. The processes of hydration of magnesite in an aqueous medium have been studied as well.*

Keywords: *manganese steel, burnt, paint, periclase, magnesite, gidratatsiya, refractory scrap.*

Ссылка на статью:

Вдовин К.Н., Смирнов А.Н., Пивоварова К.Г., Понамарева Т.Б. Исследование свойств лома магнетитовых огнеупоров в качестве наполнителя противопожарной краски для стали гадфильда // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 34-37.
Vdovin K.N., Smirnov A.N., Pivovarova K.G., Ponamareva T.B. The study of the properties of magnesite refractory as a filler of antiburning-on paint for hadfield steel. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 34-37.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.187.2

Агапитов Е.Б.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы развития плазменных сталеплавильных печей, возможное использование их в новых технологиях, на основе сопоставительного анализа изменения технологии и конструкции ДСП. Предложен к обсуждению стратегический вариант перехода к новым металлургическим технологиям с проведением процессов в паровой фазе. Приведены соображения относительно использования фрагментов плазменных технологий в существующих ДСП.

Ключевые слова: плазменные печи; изменение технологии плавки в ДСП; новые металлургические технологии; рециклинг; применение полых электродов.

Введение

Данная статья связана с переосмыслением роли и идей, которые приносили в металлургию крупные советские ученые, такие как А.М. Бигеев, умеющие видеть в ростках появляющейся новой техники возможности будущих технологий. Развитие плазменной металлургии в нашем ВУЗе пришлось на 70е – 80е годы. Тогда казалось, что скоро это направление начнет активно занимать своё место в металлургических технологиях. Однако, интерес к плазменным печам был вскоре вытеснен бумом развития дуговых печей. При этом технологические особенности плазменных печей и технологий оказались не востребованными и были отодвинуты на второй план. По разным оценкам сейчас дуговые сталеплавильные печи (ДСП) занимают до 45% общего объема производства стали. Однако их место в технологиях будущего не является очевидным и будет определяться уровнем развития новых технологий. В этой связи, перспективы использования низкотемпературной плазмы видятся в переосмыслении оценки её возможностей в сопоставлении с историческим опытом применения ДСП в металлургии.

Использование электрической дуги для осуществления металлургических процессов впервые было показано русским академиком В. В. Петровым в 1802г. [1], а первая ДСП прямого действия с зависимой дугой была построена П. Геру во Франции в 1899г. Все последующее столетие дуговые печи отвоевывали свое место у топливной металлургии. При этом – основным реализуемым преимуществом дуги являлось концентрирование высокой тепловой мощности в малом объеме.

Электрическая мощность дугового разряда P_d , характеризующая (при коэффициенте использования энергии данного способа теплогенерации, равном единице) тепловую мощность, т. е. скорость преобразования электрической энергии в тепловую, равна:

$$P_d = I_d U_d, \quad (1)$$

где I_d – сила тока дуги. Уравнение (1) показывает возможность регулирования тепловой мощности дугового разряда в широких пределах в соответствии с требованиями технологического процесса за счет изменения I_d , U_d и длины дуги или межэлектродного расстояния при перемещении электродов.

Характерной особенностью ДСП являлся непрерывный рост производительности, и как следствие – увеличение мощности вводимой энергии. Садка большинства современных агрегатов значительно превышает 100т. Удельные мощности, вводимые в дуговые печи трёхфазного тока, возросли с 220 кВА/т стали до 1200 кВА/т в настоящее время. Всё это привело к необходимости изменения конструкции печи и технологической цепи обработки стали. Для снятия высоких тепловых нагрузок от нестабилизированных дуг в конструкции печи появились водоохлаждаемые своды и панели. Из – за низкой тепловой эффективности агрегата четко обозначилась тенденция минимизации времени проведения технологических операций. Вследствие длительности процесса рафинирования стали, пришлось от него отказаться и перенести эту стадию в агрегаты внепечной обработки и к настоящему времени, дуговая сталеплавильная печь превратилась в агрегат, производящий промежуточную продукцию, рис.1.

Исторически дуговые печи разрабатывались для выплавки спецсталей и переработки лома. Применение чугуна не рассматривалась, но позднее, в связи с ухудшением качества лома, доля чугуна в шихте ДСП была поднята до уровня 30%. В настоящее время ставятся задачи по выплавке стали с начальной загрузкой до 50% чугуна в шихте. Широко используется кислородное дутье. Отчасти причиной этому является экономическая ситуация, характерная для России, когда стоимость чугуна оказалась меньше стоимости лома. Кроме того, уже к 2010 году дефицит лома по разным оценкам составлял 5-6 млн.т. Одной из альтернатив лома стал металлized окатыш. Сейчас его доля в шихте ДСП по различным данным достигает 14%.

Преимущества электродуговых и плазменных печей на начальном этапе развития		Современные тенденции развития конструкций электродуговых печей
Электродуговые	Плазменные	
Концентрация мощности в небольших плавильных пространствах (1-40т)	Сверхконцентрация тепловой мощности в малом объеме рабочего пространства (1-5т)	Рост садки печей (100 – 320т), снижение доли тепла, вносимого электрическими дугами при установке горелок, чугуна
Выплавка марочника электросталей	Выплавка уникальных сталей	Выплавка рядового сортамента сталей, производство полупродукта
Работа с минимальным выходом отходящих газов	Работа с минимальным выходом отходящих газов	Рост объема отходящих газов, потери тепла с уходящими газами до 15%
Минимум водоохлаждаемых элементов	Водоохлаждаемые элементы плазматронов, подовых электродов, элементов печей. Потери с охлаждающей водой до 30% тепловой мощности	Рост поверхности водоохлаждаемых элементов. Потери с охлаждающей водой 10 – 20%тепловой мощности
Специально подготовленная шихта	Специально подготовленная шихта	Рядовая шихта, чугун
Использование инертных газов для перемешивания ванны	Использование инертных и активных плазмообразующих газов	Использование активных газов для традиционных металлургических технологий, топлива, инертных газов для перемешивания

Рис. 1. Изменение стратегии использования электроэнергии в ДСП.

Другой тенденцией развития дуговых печей является привнесённая из-за рубежа технология вытеснения вклада электроэнергии другими источниками тепла. Различные попытки улучшить теплотехнологию печей (применение шахтных конструкций, подогрев лома, непрерывная загрузка шихты) не дали ожидаемого эффекта. Классическая технология работы печи оказалась наиболее приемлемой. Несмотря на всё ещё значительную долю теплоты, вносимую электричеством, в качестве альтернатив ему сейчас могут выступать природный газ, коксующийся уголь, газообразный кислород, вводимые топливо-кислородными горелками.

По данным Ю.Н.Тулуевского [1], наибольшее распространение получили топливо-кислородные горелки небольшой единичной мощности 4–6 МВт. Общая длительность работы таких горелок на современных печах составляет 15–20 минут. Подобное применение горелок является средством достижения целей скорее технологического, чем энергетического характера, так как топливо-кислородные горелки выполняют относительно более успешно те же функции, что и подрезка шихты кислородом в холодных зонах печи, где плавление шихты затягивается. Эффективность применения горелок по опубликованным данным колеблется в широких пределах. При удельных расходах жидкого топлива до 5–7 л/т, а природного газа 6–8 м³/т длительность периода плавления сокращается на 10–15%, расход электроэнергии на 8–12%, или на 40–50 кВт·ч/т. Работа горелок со значительными расходами топлива сопровождается резким падением эффективности его использования. ДСП приобрела многие черты топливных печей, хотя небольшое печное пространство ДСП не расположено для эффективного применения топливных горелок. Из-за высоких температур открытой дуги – физико-химические операции перемещают в агрегаты внепечной обработки.

Доля электрической энергии, вводимой в печь,

непрерывно снижается, и на текущий момент эта доля достигла той предельной величины, ниже которой осуществлять понижение этой доли невозможно без значительного изменения конструкции печи и технологии выплавки.

В связи с этим, назревает необходимость менять идеологию использования электроэнергии в дуговой печи. Возможно, энергию дуги использовать не для внесения тепла, а для проведения высокоинтенсивных физико-химических процессов, поскольку традиционные способы внесения тепла экономически эффективнее, чем применение для этой цели дуг. Целесообразность такого подхода подтверждается значительной энергоёмкостью производства электрической энергии и как следствие – её стоимостью. В условиях относительной дешевизны природного газа использование его в качестве приоритетного энергоносителя в технологии выплавки стали становится очевидным. Кризис сырьевой базы заставляет искать новые технологии производства конечного продукта и разрабатывать технологические агрегаты нового поколения.

Анализ ошибок, допущенных в прошлом, помогает избежать их в будущем. Развитие плазменного нагрева на основе стабилизированных газом дуг, послужило основанием для создания в начале 60-х годов принципиально нового вида печей – плазменных дуговых печей с керамическим тиглем (ПДП). Преобразование электрической энергии в тепловую в этих печах осуществлялось в плазменной дуге, представляющей собой ионизированный поток, который образовывался во время дугового разряда в газе, подаваемом под давлением. В качестве плазмообразующего газа обычно использовался аргон, азот и реже водород. Рабочий объем ПДП был заполнен плазмообразующим газом. Плазменная дуга постоянного тока горела между катодом, расположенным в торце плазматрона, и размещенным в подине печи анодом. В плазменных плавильных печах, где использовалась так называемая низкотемпературная плазма, температура плазменной струи в наиболее горячих ее участках достигала 10000–25000 К. Наличие принципиально нового источника нагрева (плазмы) вместо открыто горящей дуги на воздухе являлось отличительной особенностью плазменных плавильных печей от дуговых сталеплавильных и создавало условия для проведения комплексных физико-химических реакций нового типа. Разработкой плазматронов занимались ученые ИТМО в Минске, СО АН СССР, ИЭС Патона, ИМЕТ им. Байкова и др.

Основной акцент на начальном этапе развития делался на разработке новых металлургических технологий. На рубеже 70 – 80г. прошлого столетия активно развивались поисковые технологии прямого восстановления железа в одностадийном процессе в плазменном реакторе из магнетитовых концентратов в водородно – метановой среде. Развивались технологии плазменно – дугового переплава металла в которых принимали участие: ин – т металлургии им. Бай-

кова, ИЭС им. Патона, иностранные компании. Однако позже, остановившись на стадии научно - исследовательских разработок, внимание было переключено на проблемы массового производства, в том числе в технике ДСП.

Современная техника XXI века разрушает традиционные подходы к построению новых технологий. Возникают новые задачи, связанные с акцентами на экологии, автоматизации, мобильности. На горизонте - появление новых источников дешевой электроэнергии и изменении подходов к построению технологических процессов, основанных на снижении энергопотребления. Уже сегодня избыточные электрические мощности в России оцениваются на уровне десятков Гигаватт.

В этой связи возврат к идеологии конструирования плазменных печей, основанных на компактировании, экологичности, достижении сверхвысоких теплонапряжений и уровней достигаемых температур, может оказаться вновь востребованным. Должны быть востребованы такие свойства плазмы, как активизация процессов в газовой фазе, малые объемы выбросов.

Еще в тридцатых годах, физик А.А. Власов показал, что к плазме совершенно не применимы газовые законы, так как все ее частицы одновременно взаимодействуют между собой через магнитные и электрические поля, следовательно, движение частиц в плазме нельзя рассматривать отдельно от поля, а поле от движения. Процессы в плазме можно использовать как разновидности химических технологий, при которых пирометаллургические процессы протекают в среде диссоциированных и ионизированных газов. Привлекательно использование электрических, магнитных полей, ультразвука для воздействия на процессы в плазме. Но именно эти области остались малоизученными, далекими от практических технологий.

Однако, двигаться по пути создания новых технологий на старой печной основе, видимо, ошибочно. В это связи перспективной может быть идеология испарения материалов в агрегатах нового типа (в основе могут быть концепции подвижных защитных поверхностей, как например, в центробежных печах) и проведении процессов в паровой фазе, о чем мечтал профессор Иванов Н.И. – соратник А.М. Бигеева. Фрагментарно эта технология сейчас применяется только в порошковой металлургии, но может рассматриваться как альтернатива классическим технологиям получения материалов.

Ответа на вопрос – как обращаться с парообразными материалами дальше – нет, но вряд ли стоит идти по пути разработанных технологий получения порошкообразных материалов. Можно получать полиметаллические порошки; можно пытаться с помощью различных воздействий получать чистые материалы в порошкообразном виде, конденсировать их, а затем прессовать или плавить; можно получать чистые

жидкометаллические материалы, а затем изготавливать сплавы.

При этом металлургические технологии могут строиться на основе процессов, освоенных в низкотемпературной технике и технологии разделения газообразных смесей по температурам кипения веществ. Ожидаемый скепсис в этом отношении разрушается темпом роста технологических прорывов в других областях.

Такой подход может привести к созданию новых агрегатов, работающих в высокотемпературных областях на уровне 5000 – 10000С, новых материалов и технологий изоляции стен этих агрегатов от окружающей среды.

В этой перспективе – металлургические технологии также могут претерпеть революционные изменения. На первом этапе это могут быть мало и среднетоннажные процессы переработки отходов, рецилинг, а далее - переход к крупнотоннажному производству. Переход к паровым технологиям решит проблему не только рецилинга материалов, но и изменит цепь сырьевых технологий.

Промежуточным этапом в этом тренде может быть диверсификация технологий выплавки стали в ДСП, которые могут заключаться:

- в использовании электроэнергии в основном для интенсификации физико-химических реакций;
- организации процесса плавления с прохождением основной массы расплава через реакционную зону дуговых пятен, что позволит повысить эффективность использования энергии электрических дуг;
- разработка технологий с использованием нескольких плавильных агрегатов различной ёмкости, работающих с различным темпом плавки, используемых для нагрева шихты преимущественно традиционные источники тепла.

В качестве пути использования преимуществ плазмы в технологиях ДСП, может быть применение полых электродов с подачей через полость газов и газовых смесей. Данная технология успешно опробовалась в работах, выполненных под руководством профессора Бигеева В.А.

К сожалению, чтобы оценить все преимущества новых технологий, нужна серьезная теоретическая и экспериментальная проработка, которая не даст сиюминутной отдачи, а решение практических задач сегодняшнего дня вряд ли приближает нас к решению задач ближайшего будущего.

Список литературы

1. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей, Новосибирск, НГТУ, 2010, 346 с.
2. Агапитов Е.Б., Бигеев В.А., Ерофеев М.М., Покатаева М.А., Бигеев А.В. Тепломассообменные процессы в расплаве стали при использовании электродуговых устройств с полыми электродами. Магнитогорск, 2009, 189 с.

Сведения об авторах

Агапитов Евгений Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: jek_agapitov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF PLASMA STEEL-FURNASE

Agapitov Evgeny Borisovich- D. Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, E-mail: jek_agapitov@mail.ru

Abstract. *The prospects for the development of plasma steelmaking furnaces, their possible use in new technologies, on the basis of a comparative analysis of the technology change and the design of the EAF are considered in the article. A strategic variant of the transition to new metallurgical technologies with the implementation of processes in the vapor phase is proposed for discussion. Considerations are given regarding the use of fragments of plasma technologies in existing particleboard.*

Keywords: *plasma furnaces; change in melting technology in particle board; new metallurgical technologies; recycling; use of hollow electrodes.*

Ссылка на статью:

Агапитов Е.Б. Перспективы развития плазменных сталеплавильных печей // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 38-41.

Agapitov E.B. Perspectives of the development of plasma steel-furnase. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 24, no. 1, pp. 38-41.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

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

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

Журнал включает в себя следующие разделы:

1. 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 и сплавов.
9. Экология и охрана окружающей среды в металлургии.
10. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии.
11. Автоматизация и САПР металлургического производства.
12. Общие вопросы металлургии.
13. Нанотехнологии и наноматериалы в металлургии.
14. Металлургия техногенных процессов.

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

- электронную версию статьи выслать по электронной почте;
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи;
- контактный E-mail: , контактный телефон, почтовый адрес для получения экземпляра журнала;
- адрес редакции Ленина пр., д. 38, г. Магнитогорск, 455000. Тел. (3519) 29-84-64, дирекция ИММиМ E-mail: ТТa-PEoMP@mail.ru ; ttmp@magtu.ru.
- лицензионный договор на передачу прав

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

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

- формат страницы – А4 (210x297мм), отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
- шрифт основного текста – 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, список литературы, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в (**Приложении 1**).
- аннотация (*Abstracts*) (150-250слов), выполняется *курсивом* (*аннотация должна быть логически выстроена*);
- ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется *курсивом*;
- список литературы выполняется в соответствии с требованиями (пример оформления литературы приведен в (**Приложении 2**);
- сведения об авторах (*Information about authors*) должны включать: Ф.И.О. полностью, должность, место работы, ученая степень, ученое звание, контактный телефон, электронный и почтовый адреса;
- в конце статьи дается английская версия фамилий, инициалов авторов, названия статьи, авторского резюме, ключевых слов, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи. Использование электронного переводчика не допустимо.**

Пример оформления статьи

УДК 621.746.5.047

Столяров А.М., Шевченко Е.А.

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

Текст статьи

Список литературы

Сведения об авторах

Stolyarov A.M., Shevchenko Y.A.

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

Пример оформления литературы

Список литературы

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

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

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

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

По всем вопросам обращаться по тел.: 8(3519)298430, либо по E-mail: TTaPEoMP@mail.ru; tttmp@mail.ru