

ЧЕРНЫЕ металлы



Совместное издание · № 9 (1041), 2018

stahl
und
eisen

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Подписка на 2018 г.



На ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Черные металлы» можно подписаться в ближайшем к Вам почтовом отделении или в редакции журнала.

В редакции

Печатная версия 28 800 руб.
Электронная версия 26 400 руб.

Через агентства

Каталог «Роспечать» (подписной индекс 92650)
«Пресса России» (подписной индекс 12985)

Редакция журнала «Черные металлы»

Россия, 119049, Москва, а/я № 71
Тел/факс +7(495) 638-45-18
Эл. почта: chermet@rudmet.ru
www.rudmet.ru

Подписной купон — 2018

Для оформления подписки направьте заполненный купон и копию платежного поручения на эл. почту chermet@rudmet.ru или по факсу **(495) 638-45-18**.

Печатная версия На год (12 номеров) — 28 800 руб. На полугодие (6 номеров) — 14 400 руб.

Электронная версия На год (12 номеров) — 26 400 руб. На полугодие (6 номеров) — 13 200 руб.

Количество комплектов в месяц

Сумма к оплате

ФИО получателя

Организация

Индекс

Почтовый адрес

Тел/факс

Эл. почта

Черные металлы

Издательский
дом
«Руда
и Металлы»



Немецкое издание: № 4, апрель 2018

Русское издание: сентябрь 2018

stahl
und
eisen

Издается с 1961 г.
(№ 1041)

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

АО «Издательский дом
«Руда и Металлы»

ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС»

ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
Государственного Эрмитажа

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета: О. Н. Сосковец
Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), А. А. Богатов, О. И. Борискин,
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин,
Я. М. Гордон (Канада), В. Я. Дашевский, Д. Г. Еланский,
Н. А. Зюбан, В. П. Иващенко, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина,
А. А. Казаков, А. П. Коликов, А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарев,
И. О. Леушин, И. П. Мазур, Ю. Ю. Пиотровский, А. Н. Савенок,
А. Я. Стомахин, И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов,
Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия),
А. А. Юсупходжаев

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова
Ведущий редактор: А. Н. Шемякина
Набор: Л. М. Чичерина
Перевод: А. Л. Алексашин, И. В. Леушина, Ю. А. Платонов,
В. А. Цирульников, К. В. Чапковская, Т. Е. Щербакова
Ответственный за предпечатную
подготовку издания: И. В. Воловик

Russische Ausgabe der Zeitschrift «Stahl und Eisen». Zeitschrift für Technik und Wissenschaft der Herstellung und Verarbeitung von Eisen und Stahl. Herausgegeben von Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Hans Jürgen Kerckhoff Präsident Wirtschaftsvereinigung Stahl, Vorsitzender Stahlinstitut VDEh. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Carl-Dieter Wuppermann Geschäftsführendes Vorstandsmitglied Stahlinstitut VDEh. © 2018 jbd Gesellschaft für Medien und Kommunikation mbH. Graf-Recke-Strasse 82, 40239, Düsseldorf, Deutschland.

Русский перевод журнала «Шталь унд Айзен» по проблемам черной металлургии (производство и обработка черных металлов), издаваемого Обществом немецких металлургов. Х. Ю. Керкхофф, президент Экономического объединения «Сталь», председатель Института стали Общества немецких металлургов. Докт.-инж., дипл. инж.-экон. К.-Д. Вупперман, руковод. член правления Института стали Общества немецких металлургов. © 2018 jbd Gesellschaft für Medien und Kommunikation mbH. Graf-Recke-Strasse 82, 40239, Дюссельдорф, Германия.

Издатель – АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:

• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 619

• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71

Телефон/факс: (495) 955-01-75

Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения
«Черные металлы» № 9 (1041) сентябрь 2018 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов
в типографии «Канцлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16, стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33.

Выход из печати 24.09.2018. Формат 60×90/8.

Печ. л. 10. Офсетная печать. Бумага офсетная.

Тираж 1000 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» – материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции
и редсовета журнала

Подписные индексы:

92650 («Роспечать»)

12985 («Пресса России»)

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

СОДЕРЖАНИЕ

Выставки и конференции

А. Г. Корчунов. Международная молодежная научно-практическая конференция Magnitogorsk Rolling Practice 2018 в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г. И. Носова 6

К юбилею Виктора Филипповича Рашникова I–VIII

Производство стали

В. А. Чайкин, А. В. Чайкин, А. Д. Касимгазинов, П. О. Быков. Новый материал для диффузионного раскисления в агрегате комплексной обработки сталей 10

Е. А. Шевченко, А. Н. Шаповалов, Е. В. Братковский. Повышение стойкости футеровки дуговых сталеплавильных печей путем совершенствования шлакового режима с применением магнийсодержащих материалов 16

Д. Альгермиссен, А. Эренберг. Возможность использования электросталеплавильного шлака в качестве основы гидравлического связующего 21

А. Майрхофер, Ф. Хартль, А. Рорхофер, К. Штоль. Мониторинг состояния оборудования при производстве стали 28

Литейное производство и непрерывная разливка

Д. В. Морозов, С. А. Ботников, В. Н. Лавров. Методы оценки процессов вторичного окисления металла в промежуточном ковше УНРС. Часть 1. Практические примеры оценки вторичного окисления 34

Л. Фишер, Й. Бауш, И. Хюллен, К. Фрёллинг, М. Ржепчик, Т. Бранд, И. Кноп, Х.-Г. Брасс. Концепции перспективной модернизации с применением апробированной технологии непрерывной разливки стали 40

К. Н. Вдовин, Н. А. Феоктистов, Д. А. Горленко, Н. В. Копцева. Износ отливок из высокомарганцевой стали 48

В. Н. Гушин, В. А. Ульянов, Т. Д. Курилина, Г. А. Геворгян. Модифицирование, рафинирование и дегазация расплавов чугунов при импульсном воздействии 54

Ремонт и техническое обслуживание

Д. В. Терентьев, Н. Н. Огарков, С. И. Платов, А. В. Козлов. Влияние режимов эксплуатации и маслостойкости контактных поверхностей на толщину смазочной пленки в тяжело нагруженных узлах трения металлургических агрегатов 60

Метрология и стандартизация

О. И. Борискин, Д. И. Благовещенский, Г. А. Нуждин, Е. И. Хунузиди. Метрологическое обеспечение оценки соответствия металлургической продукции 65

Экономика и финансы

С.-Э. Лундберг. Сравнительный анализ затрат в сортопрокатных цехах стран Евросоюза, Северной Америки и Восточной Европы 69

Новости металлургии 76

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 0,146 (2017)

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Scopus, IV квартиль (2017)

Журнал «Черные металлы» входит в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

“CHERNYE METALLY”/“FERROUS METALS” September 2018

Monthly scientific-technical journal on the actual problems of metallurgy and machine-building

Founders

- “Ore and Metals” Publishing House
- National University of Science and Technology “Moscow Institute of Steel and Alloys”
- Nosov Magnitogorsk State Technical University

With participation of

- Magnitogorsk Iron and Steel Works
- Byelorussian Steel Works — Management Company of “Byelorussian Metallurgical Company” holding
- The State Hermitage museum

Editorial Board

Chairman of Editorial Board: Oleg Soskovets
Chief Editor: Valeriy Kolokoltsev
1st Deputy chief editor: Konstantin Kosyrev
Deputy chief editors: Alexandr Vorobiev, Evgeny Tsirulnikov, Anatoly Belenky, Wolfgang Bleck (Germany), Alexandr Bogatov, Oleg Boriskin, Nikolay Chichenev, Mihail Chukin, Viktor Dashevsky, Dmitry Elansky, Sergey Galkin, Yakov Gordon (Canada), Ilya Illarionov, Valery Ivashchenko, Ludmila Kaputkina, Alexandr Kazakov, Alexandr Kolikov, Alexey Korchunov, Alexey Kushnarev, Igor Leushin, Igor Mazur, Yuri Piotrovsky, Piotr Scheller (Germany), Anatoly Savenok, Alexandr Stomakhin, Ildar Sultanguzin, Stanislav Tkachenko, Andrey Travyanov, Rafael Valeev, Ekaterina Volynkina, Alexandr Vydrin, Anvar Yusupkhodzhaev, Nikolay Zyuban

Editorial Staff

Deputy chief editor Evgeny Tsirulnikov
Responsible secretary: Elena Rakhmanova
Leading editor: Anna Shemyakina

Editorial Address

Actual address: Moscow, Leninsky prospekt 6 bld. 2, office 619
Mailing address: 119049, Russia, Moscow, P.O. Box # 71
Phone/fax: +7-495-955-01-75
E-mail: chernet@rudmet.ru; tsirulnikov@rudmet.ru
Internet: www.rudmet.com

Printed: «Kancler» Printing house
Russia, Yaroslavl, ulitsa Polushkina Roshcha, 16, str. 66A.

Publisher: “Ore and Metals” publishing house
Phone/fax: +7-495-638-45-18
E-mail: rim@rudmet.ru

CONTENTS

Exhibitions and conferences

A. G. Korchunov. Magnitogorsk Rolling Practice 2018 — International youth scientific-practical conference in the Nosov Magnitogorsk State Technical University..... 6

Anniversary of Viktor Filipovich Rashnikov I–VIII

Steel making

V. A. Chaikin, A. V. Chaikin, A. D. Kasimgazinov, P. O. Bykov. The new material for steel diffusive deoxidizing in the unit for complex steel treatment..... 10

E. A. Shevchenko, A. N. Shapovalov, E. V. Bratkovskiy. Increase of lining resistance of electric arc furnaces by improving the slag procedure with use of magnesium-containing materials..... 16

D. Algermissen, A. Ehrenberg. Possibilities of EAF slag usage in cement production..... 21

A. Mayrhofer, F. Hartl, A. Rohrhofer, R. Stohl. Control of steelmaking equipment parameters..... 28

Continuous Casting and Foundry Processes

D. V. Morov, S. A. Botnikov, V. N. Lavrov. Methods for evaluating the secondary oxidation of the steel in CCM tundish. Part 1. Practical examples of estimation of secondary oxidation..... 34

L. Fischer, J. Bausch, I. Hüllen, Ch. Fröhling, M. Rzepczyk, T. Brand, I. Knopp, H.-G. Brass. The concepts of perspective modernization using tested and approved continuous casting technology..... 40

K. N. Vdovin, N. A. Feoktistov, D. A. Gorlenko, N. V. Koptseva. Wear of high-manganese steel castings..... 48

V. N. Gushchin, V. A. Ulyanov, T. D. Kurilina, G. A. Gevorgyan. Modifying, refining and degassing of cast iron melts through impulse action..... 54

Repair and Technical Maintenance

D. V. Terentyev, N. N. Ogarkov, S. I. Platov, A. V. Kozlov. Effect of operating modes and contact surface oil absorption on lubricant film thickness in heavy-duty friction units of metallurgical plants..... 60

Metrology and Standardization

O. I. Boriskin, D. I. Blagoveshchensky, G. A. Nuzhdin, E. I. Khunuzidi. Metrological provision of correspondence evaluation for metallurgical products..... 65

Economics and finances

S.-E. Lundberg. Comparative analysis of expenses for section rolling mills in different European and American countries.... 69

Iron and steel news..... 76

INHALT

Technik + Trends

Metallurgie

Gernot Hackl, Daniel Meurer, Beat Heinrich, Gerald Nitzl

Charakterisierung von Feuerfestprodukten durch Modellierung und Simulation 41

Anlagentechnik

Cedric Perottet, Thierry Robin, Alain Genaud

Modellvorhersagesteuerung für kontinuierliche Glühlinien..... 51

Einsatz des integrierten Eisen- und Stahlkomplexes Hoa Phat Dung Quat in Vietnam 58

Marcos De Nardi Queiroz, Myriam Mensing

Einführung eines Produktionsmanagementsystems in einer Grobblechstraße..... 61

Werkstoff und Fertigung

Richard G. Thiessen, Georg Paul, Roland Sebald

Neue hochfeste Stahlsorte mit verbesserten technologischen Eigenschaften 69

Innovation

Herstellung von zertifiziertem Referenzmaterial mit 3-D-Metalldruck 76

Elektrobleche — Starke Magnetfelder durch scharfe Kanten 78

Freiberger Forscher erhalten Patent: Superwerkstoffe aus Stahl und Keramik für die Automobil-, Luft- und Raumfahrtbranche 80

Unternehmen + Märkte

Wasserhöchstdruck und Riesensauger sorgen in der Stahlproduktion für reibungslose Abläufe:

Sondereinsatz in Duisburg 81

Beruf + Karriere

Der PDCA-Zyklus als smartes Hilfsmittel: Probleme mit System lösen 84

Prisma

Fotografien von Josef Stoffels im Ruhr Museum in Essen: Leistungsschau der Montanindustrie 94

Technikgeschichte: Stahl schreibt Geschichte 96

Rubriken

Editorial 3

Namen und Nachrichten 6

Stahlindustrie 31

studyING 89

Recht 90

Termine 90

Mitglieder Stahlinstitut VDEh 91

Inserentenverzeichnis 92

Firmenschriften 93

Technikgeschichte 96

Themen im nächsten Heft 99

Impressum 99

Produkte 47, 48, 50, 68



Ore & Metals Weekly

Since 2012

Горнорудная промышленность · Угольная промышленность · Metallurgie

ЕЖЕНЕДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ НОВОСТНОЕ ИЗДАНИЕ

Всем клиентам предлагаем оформить бесплатную подписку на новый продукт Издательского дома «Руда и Металлы» — еженедельное новостное электронное издание Ore & Metals Weekly, распространяемое бесплатно в виде e-mail-рассылки

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА:
<http://www.rudmet.ru/page/omw>



Реклама

Требования к оформлению статей

1. Статья, присылаемая в редакцию, должна иметь сопроводительное письмо от организации, в которой работают авторы (или хотя бы первый автор). Статью нужно прислать на электронную почту журнала или передать на электронном носителе.

2. Статья должна иметь не более 4 авторов. Остальных членов авторского коллектива, принимающих участие в работе, можно указать в сноске.

По каждому из авторов должны быть приложены на русском и английском языках подробные сведения (место работы, должность, ученая степень, ученое звание); электронную почту (если ее нет – телефон, почтовый адрес) достаточно привести только для первого автора или автора, являющегося контактным лицом).

Количество публикаций статей одного автора в каждом из указанных выше журналов не должно быть более двух в течение календарного года.

3. Стандартный объем статьи: 8–10 страниц текста + 3–4 рисунка. Текст печатается через 1,5 интервала шрифтом Times New Roman 12 кегля.

Текстовая часть статьи должна быть записана в отдельный файл в формате текстового редактора Word для Windows. Рисунки необходимо записывать в виде отдельных графических файлов в формате TIF, EPS или PSD с достаточным разрешением (не ниже 300 dpi при масштабе 1:1). Полная версия статьи должна быть также представлена в виде PDF-файла.

4. Материал должен быть изложен кратко, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте; на литературу, таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте.

Статья должна иметь четкую структуру: цель работы; теория вопроса; подробное изложение методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа, желательна статистическая обработка; обсуждение результатов; заключение.

Для статей производственного характера достаточно сделать разделы «Цель работы» и «Полученные результаты».

Физические единицы и обозначения следует давать в Международной системе единиц СИ.

5. Статья должна в обязательном порядке иметь реферат, ключевые слова и библиографический список.

6. Реферат к статье (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен достаточно полно раскрывать ее содержание и иметь объем в среднем не менее 1800–2000 символов (примерно 22–26 строк). Реферат должен быть переведен на английский язык (без применения машинного перевода).

7. Ключевые слова должны содержать в среднем не менее 7–10 наименований и также должны быть переведены на английский язык.

8. Библиографический список статьи (в соответствии с требованиями международных баз данных) должен соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-2003 (и его более поздней версии 2012 г.) и иметь не менее 12 источников (из них не более 3 ссылок на собственные работы), с обязательным включением как минимум 5 источников позднее 2013 г., и не менее 4 ссылок на зарубежные (из стран дальнего зарубежья, за пределами бывшего СССР) исследования последних лет. Номер литературной ссылки дается в квадратных скобках в соответствующем месте текста.

Библиографический список должен содержать следующие сведения:

– при ссылке на журнальную статью – фамилию и инициалы автора, полное название журнала, год издания, том, номер, страницы начала и конца статьи;

– при ссылке на книгу – фамилию и инициалы автора, название произведения, место издания, издательство (для иностранного источника достаточно указать город), год издания, общее число страниц в книге;

– при ссылке на статью в сборнике – название сборника, номер выпуска (или тома), место издания, издательство (или издающая организация), страницы начала и конца статьи;

– для интернет-ссылок – название ресурса и публикации, режим доступа.

При составлении библиографических списков авторам рекомендуется использовать надежные верифицируемые источники и избегать ссылок на публичные ресурсы, информация из которых не может иметь авторитетного подтверждения (например, Википедия).

9. Перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст статьи на предмет отсутствия возможных заимствований из других публикаций с помощью специальной программы (например, www.text.ru).

10. Несоответствие материалов статьи вышеописанным требованиям может послужить поводом для отказа в публикации.

11. Плата с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, за публикацию их рукописей в порядке общей очереди не взимается.

Теперь в Scopus!

Журнал «Черные металлы» Журнал «CIS Iron and Steel Review»

Журнал «Черные металлы» с 2016 года включен в Международную базу данных Scopus.

Журнал «CIS Iron and Steel Review» входит в Scopus с 2014 года.

По вопросам публикаций обращайтесь в редакцию:

Цирульников Евгений Владимирович

Тел.: +7 (495) 955-01-75

Эл. почта: tsirulnikov@rudmet.ru

Реклама

УДК 061.3:621.7

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2018 В МАГНИТОГОРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ им. Г. И. НОСОВА

А. Г. КОРЧУНОВ*

*В июне 2018 г. в Магнитогорском государственном университете им. Г. И. Носова (МГТУ) состоялась Третья международная молодежная научно-практическая конференция **Magnitogorsk Rolling Practice 2018** при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.*

Ключевые слова: конференция, МГТУ им. Г. И. Носова, исследования, доклады, ученые, сталь, микро-структура, наноматериалы.

В 2018 г. программа конференции включала пленарные доклады известных зарубежных и отечественных ученых в области обработки металлов давлением и материаловедения, презентацию международной лаборатории «Механика градиентных наноматериалов», работу молодых ученых в тематических секциях, экскурсии в Технопарк университета и на ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

В работе форума приняли участие более 80 ученых из России, Казахстана, Индии, Италии, Испании и Великобритании.

Информационными спонсорами конференции выступили журналы «Черные металлы», «CIS Iron and Steel Review», «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова» и «Механическое оборудование металлургических заводов».

Пленарное заседание открыл ректор университета М. В. Чукин, который в приветственном слове особо подчеркнул, что формат конференции предоставляет возможность молодым ученым различных научных школ обмениваться своим опытом и знаниями с известными учеными, создать новые научные коллаборации, что приводит к развитию перспективных научных направлений, мотивирует защищать кандидатские и докторские диссертации, активно участвовать в международных конференциях самого высокого уровня.

** ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия:*

А. Г. Корчунов, председатель организационного комитета, проректор по международной деятельности;

эл. почта: international@magtu.ru

© Корчунов А. Г., 2018



С первым пленарным докладом на тему «Advanced Metal Forming Techniques: Incremental Sheet Forming» выступил профессор Пунит Тандон (Индийский институт информационных технологий, проектирования и производства, г. Джабалпур, Индия). В ходе доклада участники конференции познакомились с перспективным классом процессов инкрементальной формовки листовых заготовок, которые могут применяться в различных областях промышленности — от автомобилестроения до медицины.

Далее с докладом на тему «Thermomechanical treatment for Advanced High Strength Steel & Ultra High Strength Steel Production» выступил профессор Мануэле Дабала (Падуанский университет, г. Падуа, Италия). Доклад был посвящен современным маркам сталей со сложносочетаемым комплексом свойств, а также видам и режимам термомеханической обработки, позволяющим варьировать соотношение пластичности и прочности.



В докладе профессора М. А. Поляковой (Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова) на тему «Tendencies in the development of new methods for carbon steel wire manufacturing» были представлены результаты исследований влияния комбинированных деформационных воздействий на микроструктуру и механические свойства углеродистой проволоки.

Вторая часть пленарного заседания была посвящена презентации международной научной лаборатории «Механика градиентных наноматериалов», открываемой в университете при поддержке гранта Правительства РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 220.

С приветственным словом к участникам конференции обратился В. Г. Шпайхер, представитель компании «Инконсалт-К» (Москва), рассказав о системе государственной поддержки создания лабораторий мирового уровня под руководством ведущих ученых. Далее с докладом «Organizational structure and goals of new laboratory in NMSTU» выступил руководитель лаборатории профессор А. П. Жилиев (Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, г. Уфа, Россия). Доклад был посвящен практическим аспектам применения градиентных наноматериалов в современных авиа-, судо- и машиностроительных производствах.

Доклад на тему «Development in the processing of ultrafine-grained and gradient nanomaterials» представил профессор Теренс Лэнгдон (Университет Саутгемптона, г. Саутгемптон, Великобритания). В докладе были обобщены результаты многолетних исследований механических свойств и микроструктуры градиентных наноматериалов при различных видах деформационного воздействия. Профессор Хосе Мария Кабрера Марреро (Политехнический университет Каталонии, г. Барселона, Испания) в докладе «Perspectives of industrial application of severely deformed metals» познакомил участников конференции с результатами промышленного



внедрения теоретических исследований в области бимодальных и градиентных наноструктур.

На следующий день работа конференции продолжилась в трех тематических секциях «Фундаментальные проблемы обработки металлов давлением в условиях смены технологического уклада», «Инновационные технологии и материалы обработки металлов давлением», «Развитие теории и технологии глубокой переработки металлов и сплавов».

В секционных заседаниях были заявлены доклады молодых ученых из Московского института стали и сплавов, Уральского федерального университета (г. Екатеринбург), Сибирского федерального университета (г. Красноярск), Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск), Сибирского государственного индустриального университета (г. Новокузнецк), Уфимского государственного авиационного технического университета, Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Норильского государственного университета, Карагандинского государственного индустриального университета (г. Темиртау, Казахстан), Рудненского индустриального института (г. Рудный, Казахстан), производственных компаний ПАО «ММК», ОАО «ММК-Метиз» и «Белмаг» (г. Магнитогорск).

Доклады имели достаточно высокий научный уровень, а докладчики продемонстрировали стремление как можно ярче и выразительнее представить результаты своих научных исследований. Несмотря на молодой возраст выступающих, они проявили себя как вполне зрелые исследователи, способные решать сложные задачи в обработке металлов давлением.

Тематика докладов молодых ученых свидетельствует о том, что в настоящее время существенный интерес вызывают научные направления, связанные с разработкой:

- конечно-элементных моделей процессов обработки металлов давлением в специализиро-



ванных программных комплексах DEFORM 3D, Abaqus, Simufact Forming;

- инновационных процессов обработки металлов давлением;
- новых материалов с повышенным уровнем эксплуатационных характеристик;
- новых методик определения истинного сопротивления металлов и сплавов деформации;
- технического перевооружения и оснащения металлургических предприятий автоматизированными системами для реализации современных технологических процессов на базе цифровых IT-технологий.

По итогам работы секций были определены призеры и победитель конференции. Дипломом 3-й степени были награждены А. Арбуз (Карагандинский государственный индустриальный университет) за доклад «Исследование эволюции микроструктуры стали aisi1015 при радиально-сдвиговой прокатке с использованием программного комплекса

SIMUFACT.FORMING и базы данных материалов MATILDA» и М. Усанов (Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова) за доклад «Направления повышения конкурентоспособности углеродистой проволоки больших диаметров».

Диплома 2-й степени удостоены О. Якивчук (Сибирский федеральный университет) за доклад «Разработка инновационной технологии горячей и холодной прокатки листовых полуфабрикатов из нового алюминиевого сплава, экономно легированного скандием» и С. Стругов (Южно-Уральский государственный университет) за доклад «Разработка технологии малоотходной безуклонной горячей объемной штамповки воротниковых фланцев на основе комбинированной схемы деформации «раздача – выдавливание».

Победителем конференции с вручением Диплома 1-й степени был признан А. Уманский (Сибирский государственный индустриальный университет) за доклад «Анализ и совершенствование режимов производства железнодорожных рельсов в условиях современного универсального рельсобалочного прокатного стана».

По итогам работы конференции был издан сборник материалов объемом 130 стр.

Подробнее с итогами конференции можно познакомиться на сайте: <http://mrp.magtu.ru>.

Конференция проводилась при финансовой поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» (Договор № 18-38-10016/18 от 27.04.2018) ЧМ

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 6–8

MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2018 — INTERNATIONAL YOUTH SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE IN THE NOSOV MAGNITOGORSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

A. G. Korchunov¹, Dr. Eng., Prof., Vice Recor on International Affairs

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

E-mail: international@magtu.ru

Abstract: The 3rd International youth scientific-practical conference Magnitogorsk Rolling Practice 2018 took place in the Nosov

Magnitogorsk State Technical University under support of the Russian Fund of Fundamental Researches. More than 80 scientists from Russia, Kazakhstan, India, Italy, Spain and UK participated in this event. The program of the conference included plenary lectures of well-known national and international specialists in the field of metal forming, presentation of the international laboratory “Mechanics of gradient nanomaterials”, thematic sections of young scientists, scientific trips to the university technopark and at Magnitogorsk Iron and Steel Works.

Key words: international conference, rolling practice, experience exchange, metal forming, universities.



Ore & Metals Weekly
Since 2012

Горнорудная промышленность · Угольная промышленность · Металлургия

ЕЖЕНЕДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ НОВОСТНОЕ ИЗДАНИЕ

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА:
<http://www.rudmet.ru/page/omw>



Всем клиентам предлагаем оформить бесплатную подписку на новый продукт Издательского дома «Руда и Металлы» — еженедельное новостное электронное издание Ore & Metals Weekly, распространяемое бесплатно в виде e-mail-рассылки

Реклама



К юбилею Виктора Филипповича Рашникова

Виктор Филиппович Рашников — Председатель совета директоров ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», председатель комитета по стратегическому планированию.

Родился 13 октября 1948 года в г. Магнитогорске Челябинской области. В 1974 году окончил Магнитогорский горно-металлургический институт по специальности «Обработка металлов давлением», в 1993 году получил второй диплом по специальности «Организация управления производством».

Трудовую деятельность начал на Магнитогорском металлургическом комбинате в 1967 году слесарем цеха ремонта металлургического оборудования. Работал оператором, бригадиром, мастером, начальником смены, начальником цеха, начальником управления по производству и поставкам продукции. В 1991 году был назначен главным инженером — первым заместителем генерального директора. С 1997 года возглавлял ОАО «ММК» в качестве генерального директора. С апреля 2005 года — председатель совета директоров. С 2006 по 2014 гг. — президент ООО «Управляющая компания ММК».

Доктор технических наук (1998 г.), почетный профессор МИСиС (2002 г.), академик Российской академии проблем

качества. Является автором многих научных исследований, технических разработок, научных трудов. Лауреат премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники (2001 и 2002 гг.).

Удостоен звания лауреата общенациональной премии имени Петра Великого «За выдающийся вклад в экономику России» (2000 г.). Отмечен многочисленными правительственными и общественными наградами. Среди них медаль «За трудовую доблесть» (1986 г.), орден Почета (1995 г.), орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (1998 г.), III степени (2004 г.) и II степени (2013), орден Петра Великого (2004 г.), ордена Русской Православной церкви: орден Преподобного Сергия Радонежского (2001 г.), орден Святого Благоверного князя Даниила Московского (2005 г.).

Пять раз избирался депутатом Законодательного собрания Челябинской области. Является президентом Союза промышленников и предпринимателей Челябинской области, президентом хоккейного клуба «Металлург» (г. Магнитогорск). Член бюро правления Российского союза промышленников и предпринимателей, почетный гражданин Челябинской области и города Магнитогорска.

Уважаемый Виктор Филиппович!

Примите искренние поздравления с 70-летием!

С Вашим именем связана вся новейшая история Магнитогорского металлургического комбината. Ваш высочайший профессионализм и стратегическая дальновидность, умение принимать нестандартные решения и работать на перспективу вывели пред-



приятие на позиции лидера отечественной металлургии, позволили ему успешно конкурировать на мировом рынке. Благодаря Вашей безупречной работе сегодня ММК является гарантом успешного социально-экономического развития Челябинской области, остается символом

индустриальной и стратегической мощи нашей страны.

Комбинат и Магнитогорск стали Вашей судьбой. Здесь трудились Ваши родители, здесь закалялся Ваш характер, позволивший удержать и выровнять огромный комбинат в бурном океане радикальных реформ. Яркий талант инженера-металлурга и руководителя, огромный жизненный опыт и знание людей, неиссякаемая энергия и социальная инициатива, глубокое уважение к рабочему человеку и любовь к родному городу — все это дает надежную гарантию, что легендарная Магнитка была и будет индустриальным флагманом Южного Урала и России.

Желаю Вам, уважаемый Виктор Филиппович, крепкого здоровья, счастья, радости и дальнейших больших успехов в Вашей работе на благо Магнитогорска, Челябинской области и нашего Отечества!

Губернатор
Челябинской области *Б. А. Дубровский*



Б. А. Дубровский и В. Ф. Рашников на открытии АНГЦ №3 ПАО «ММК», июль 2017

Уважаемый Виктор Филиппович!

Сердечно поздравляю Вас с 70-летием!

Пройден славный значительный отрезок жизненного пути, и на всех его этапах Вас отличают трудолюбие, высокий профессионализм, неутомимая творческая энергия, целеустремленность и настойчивость в достижении поставленной цели. Единственное, что остается неизменным в Вашей богатой биографии, — это то, что Вы всегда остаетесь Человеком с большой буквы, ответственным и порядочным, отзывчивым и демократичным.

Уникальный управленческий опыт, житейская мудрость, знания доктора технических наук — неудивительно, что Вам удалось сформировать отличную команду высококлассных профессионалов, людей, не равнодушных к земле, на которой живут. Ваша деятельность вызывает чувство глубокого уважения и признания у коллег, заслуживает той всенародной поддержки, которая дает силы идти вперед и достигать самых высоких целей. Своим примером Вы заражаете молодежь стремлением к постоянному интеллектуальному развитию, повышению квалификации, необходимостью ставить перед собой амбициозные цели и добиваться успехов.

Высокая социальная ответственность комбината во многом обусловлена Вашей заинтересованностью и непосредственным участием в социальных проектах. Инвестирование Магнитогорского металлургического комбината в здравоохранение, образование, культуру и развитие спорта делает

регион уютным и комфортным для жизни, вселяет в жителей уверенность в завтрашнем дне. Вы создаете условия для труда и профессионального роста, оздоровления не только сотрудников комбината, но и жителей всего Магнитогорска.

Покорен Вашей энергией, организаторским даром, умением грамотно выстроить и успешно реализовать стратегию развития предприятия. Мудрая управленческая политика Магнитогорского металлургического комбината под Вашим руководством позволяет компании быть лидером не только российской металлургии, но и укреплять конкурентные позиции Челябинской области.

Благодарю Вас, уважаемый Виктор Филиппович, за достойный образец активной жизненной позиции и профессионального лидерства.

Примите самые добрые поздравления по случаю Вашего праздника и искренние пожелания долгих лет жизни, крепости духа, здоровья, счастья, благополучия Вам и Вашей семье! Пусть Вас окружают верные друзья и всегда сопутствует удача!

Губернатор Магаданской области С. К. Носов



Стан 5000 производства толстолистового проката ПАО «ММК»

Уважаемый Виктор Филиппович!

От многотысячного коллектива
ПАО «ММК» и от себя лично
сердечно поздравляю Вас с юбилеем!



Богатый предпринимательский опыт, высокий профессионализм, преданность делу всей Вашей жизни снизили Вам непререкаемый авторитет и уважение в российском и международном деловом сообществе.

На Магнитке Вас знают и ценят как настоящего патриота родной земли, неравнодушного человека, по-настоящему радующего за на-

стоящее и будущее комбината и нашего славного города.

Особого признания заслуживает Ваш вклад в защиту интересов российского и регионального бизнеса, который Вы вносите как член Бюро правления РСПП и президент Союза промышленников и предпринимателей Челябинской области.

Земляки благодарны Вам за те масштабные и социально значимые проекты в сфере экономики, культуры и спорта, которые воплощаются в жизнь благодаря Вашему деятельному участию.

Примите самые искренние пожелания большого запаса жизненной энергии, реализации всех Ваших планов, крепкого здоровья и благополучия!

Генеральный директор
ПАО «Магнитогорский
металлургический комбинат»
П. В. Шляев



В. Ф. Рашников, Б. А. Дубровский и П. В. Шляев на очередном пусковом объекте ПАО «ММК», июль 2017

Уважаемый Виктор Филиппович!

От имени трудового коллектива
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод
«ММК-МЕТИЗ» и от себя лично
сердечно поздравляю Вас с юбилеем!

Ваш плодотворный жизненный путь — яркое подтверждение тому, что Вы человек с выдающимися многосторонними способностями и колоссальным управленческим опытом. За годы плодотворной работы на Магнитогорском металлургическом комбинате Вы проявили себя как грамотный руководитель, человек с неукротимой энергией, твердыми принципами и убеждениями. Период Вашего руководства ПАО «ММК» стал временем реализации перспективных проектов и внедрения передовых стратегий. Ваша принципиальность, новаторский подход к решению стратегических вопросов, касающихся производственной и социально-экономической деятельности ПАО «ММК», позволили занять предприятию ведущее место среди крупнейших российских и мировых сталелитейных компаний.

Немаловажен и тот факт, что на протяжении многих лет градообразующим предприятием нашего города руководит неравнодушный человек, истинный патриот

Магнитогорска и региона, искренне заботящийся о духовном и социальном развитии его жителей, сохранении и приумножении культурно-исторического наследия.

На протяжении многих лет Вы с честью и достоинством выполняете долг перед Родиной, отдавая этому благородному делу большой организаторский и управленческий талант, целеустремленность, творческую энергию.

Ваш юбилей — это приятный повод, чтобы еще раз выразить Вам свое искреннее уважение. От всей души желаю Вам, Виктор Филиппович, крепкого здоровья, благополучия во всем, успехов в работе на благо процветания компании и нашей Родины!

Директор
ОАО «Магнитогорский
метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ»
О. П. Ширяев



Б.А. Дубровский, В.Ф. Рашников и О.П. Ширяев (на переднем плане слева направо) на производственной площадке ОАО «ММК-МЕТИЗ»

Уважаемый Виктор Филиппович!

От себя лично и от имени всей Уральской горно-металлургической компании поздравляю Вас с юбилеем!

Я искренне восхищаюсь Вашей выдержкой и преданностью своему делу.



Ваш профессионализм, твердость характера, умение формировать вокруг себя эффективную команду единомышленников позволили Магнитогорскому металлургическому комбинату не только сохранить статус одного из крупнейших в мире, но и существенно модернизировать производство, заложив основы развития на десятилетия вперед.

Сегодня ММК — это флагман российской черной металлургии, в основе которого лежит не только

грамотная организация производственных процессов, но и целый комплекс мер, направленный на развитие кадрового потенциала предприятия.

Отрадно видеть, что предприятие в качестве одного из основных приоритетов своего развития определило реализацию комплекса мер по формированию комфортной и безопасной городской среды, развитию научной и образовательной базы, поддержке профессионального и массового спорта.

Хочу пожелать Вам и Вашей семье всего самого главного: здоровья, гармонии, новых открытий и свершений.

Еще раз от чистого сердца поздравляю Вас с юбилеем!

С искренним уважением
Генеральный директор
Уральской горно-металлургической компании
А. А. Козицын



Электросталеплавильный цех ПАО «ММК»

Уважаемый Виктор Филипович!

Примите искренние поздравления с юбилеем!

Ваша биография и трудовой путь не могут оставлять равнодушным. Верность и искренняя любовь к своей малой родине, деятельное начало, целеустремленность и любовь к людям — добродетели, которые снискали Вам уважение коллег, партнеров, руководства страны и жителей родного Магнитогорска.

Потомственный металлург, Вы посвятили Магнитогорскому металлургическому комбинату более полувека. Опыт и доскональное знание комбината, которые приобрели за годы работы, помогают Вам успешно управлять легендарной Магниткой — настоящим символом отечественной металлургии. В истории предприятия, как и всей российской промышленности, были сложные времена. При Вашем непосредственном участии удалось не только сохранить уникальную производственную базу и профессиональный коллектив ММК, но и подготовить основу для его дальнейшего динамичного развития, а значит, —

процветания Магнитогорска и всего Южного Урала.

Признанием Ваших заслуг и свидетельством высокого доверия руководства страны и земляков стали государственные награды и неоднократное избрание депутатом Законодательного собрания Челябинской области, присвоение званий Почетного гражданина Магнитогорска и Челябинской области.



Желаю Вам крепкого здоровья, энергии и сил для претворения в жизнь всех добрых начинаний. Пусть в реализации намеченных планов помогают надежные друзья и партнеры, любовь близких, семейное счастье и благополучие!

С наилучшими пожеланиями
Председатель Совета директоров
Русской медной компании *И. А. Алтушкин*



Центральный офис ПАО «ММК» в Магнитогорске



Дорогой Виктор Филиппович!

Сердечно поздравляю Вас с семидесятилетием!

Вы пришли к юбилею в расцвете сил. Ваша бодрость и врожденная кипучая энергия, Ваша житейская мудрость, которой Вы щедро делитесь с людьми, — все это присуще Вам и сегодня.

Магнитка — одна из Величайших Святынь России, созданных в XX веке нашими дедами и отцами. Ваше беспримерное служение Магнитке позволило ей в тяжелейшие годы сохраниться и остаться образцом эффективности, высокого технологического уровня, качества и менеджмента человеческих отношений. Магнитка сберегла свою историческую миссию Стальной Крепости России.

Вы прошли огромный путь по непростой дороге Жизни, которая предложила Вам решить немало проблем, преодолеть огромное количество трудностей. Спасибо Вам, Виктор Филиппович, за сделанное. Спасибо за чистое небо над Магниткой.

Ещё раз искренне поздравляю Вас и обнимаю, дорогой Виктор Филиппович. Желаю Вам доброгo здоровья, чтобы Вы могли радоваться новым успехам и как можно дольше быть рядом с теми, кто Вам дорог и кто Вас любит.

Профессор Ю. С. Карabasов
(1992–2007 гг. — ректор,
2007–2017 гг. — президент МИСиС)



Уважаемый Виктор Филиппович!

От имени многотысячного коллектива преподавателей и студентов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова сердечно поздравляем Вас с 70-летием!

Вы, выпускник нашего вуза, являетесь руководителем крупнейшего металлургического предприятия страны, которое под Вашим руководством в короткие сроки успешно прошло по пути модернизации. И сегодня ММК является одной из передовых инновационных компаний в мире с социально ориентированной политикой.

Отрадно отметить, что Вы, работая на производстве в должностях различного уровня, постоянно дружили с наукой, создавая и внедряя передовые металлургические технологии и оборудование. Итогом крупномасштабных научно-исследовательских работ стали сначала защита кандидатской, а затем и докторской диссертаций и присвоение Вам высокой ученой степени доктора технических наук. И потому как яркая, самодостаточная личность, ответственный, трудолюбивый и целеустремленный руководитель, Вы являетесь примером для подражания. МГТУ гордится своим выпускником — академиком Российской академии проблем качества. Заметен Ваш вклад и в развитие научного потенциала нашего университета в качестве члена редакционного совета научного журнала «Вестник МГТУ», за что Вам благодарны ученые вуза. Сотрудничество с учеными способствует развитию совместных научных изысканий.

Пусть неиссякаемая энергия и оптимизм по-прежнему наполняют Вашу жизнь, и во всех делах Вам сопутствует удача. А рядом будут верные коллеги и надежные партнеры. Желаем Вам осуществления новых технических идей и удачно завершенных начинаний, крепкого здоровья, семейного благополучия!

С уважением
Ректор МГТУ им. Г. И. Носова М. В. Чукин

Президент МГТУ им. Г. И. Носова В. М. Колокольцев



Уважаемый Виктор Филиппович!

Коллектив Издательского дома «Руда и Металлы» и журнала «Черные металлы» сердечно поздравляет Вас с юбилеем!

Ваш жизненный путь неразрывно связан с Магнитогорским металлургическим комбинатом, легендарной Магниткой, вписавшей немало славных страниц в историю нашей страны. Руководя этим предприятием свыше 20 лет, Вы сумели выработать и успешно реализовать стратегически верный курс его развития и модернизации. Во многом благодаря этому ПАО «ММК» сохранил и укрепил стабильные лидирующие позиции среди российских металлургических предприятий и на международных рынках.

Профессионализм, целеустремленность, стратегическое мышление, умение принимать нужные решения в подходящее для этого время и последовательность в реализации принятых решений, создание квалифицированной команды — эти Ваши качества Руководителя в значительной мере обусловили достигнутые успехи Магнитогорского металлургического комбината и являются надежным залогом его будущих успехов.

Мы желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, энергии для осуществления новых свершений и дальнейших успехов в Вашей деятельности на благо российской металлургии.

Генеральный директор АО «Издательский дом «Руда и Металлы» С. А. Воробьев
Шеф-редактор АО «Издательский дом «Руда и Металлы» А. Г. Воробьев
Зам. главного редактора журнала «Черные металлы» Е. В. Цирульников

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова»

IV Международная научно-практическая конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»
18–20 декабря 2018 г., г. Чебоксары

Конференция по обмену опытом и новыми научными достижениями в областях металлургии, материаловедения, технологии машиностроения, литейного производства и смежных проблем посвящена 50-летию машиностроительного факультета университета.

Участие в конференции бесплатное, очное.

5 декабря — заезд и регистрация, пленарное заседание, работа по секциям;

6 декабря — работа по секциям, круглый стол;

7 декабря — работа по секциям, итоговое пленарное заседание, экскурсия по городу.

Секции:

- Материаловедение и металлургические процессы;
- Технология машиностроения;
- Литейное производство;
- Комбинированные методы обработки материалов;
- Процессы формообразования и инструмент;
- Порошковая металлургия, наноматериалы и нанотехнологии;
- Системы автоматизированного проектирования в машиностроении и металлургии.

Организационный комитет:

Председатель — Е. Н. Кадышев, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова», докт. экон. наук, профессор;
Заместитель председателя — И. Е. Илларионов, заведующий

кафедрой «Материаловедение и металлургические процессы» ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова», докт. техн. наук, профессор;
А. С. Янюшкин — профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», докт. техн. наук, профессор;
Д. В. Лобанов, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», докт. техн. наук, доцент;
Ответственный секретарь — В. С. Григорьев, доцент кафедры ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова».

К открытию конференции будет издан сборник научных трудов (РИНЦ).

Срок подачи статей для включения в сборник материалов конференции: до **19.10.2018 г.**

Материалы статей для включения в сборник научных трудов направлять по адресу:
428015, г. Чебоксары, ул. С.Михайлова, д. 3, кафедра МиМП
или по эл. почте: tmilp@rambler.ru, wsgrig@chuvsu.ru

Сайт конференции: www.tmconf.chuvsu.ru

Справки по эл. почте: tmilp@rambler.ru, wsgrig@chuvsu.ru или по телефонам:

**+7-952-027-24-57 – Илларионов Илья Егорович,
+7-967-470-29-88 – Григорьев Владимир Станиславович,
+7-908-303-47-45 – Лобанов Дмитрий Владимирович.**

Реклама

Гончарук А. В., Кузнецов Е. В., Романцев Б. А.

Краткий словарь терминов в области обработки металлов давлением

Словарь соответствует программе, структуре и содержанию курса «Обработка металлов давлением». Знакомит с основными терминами и понятиями из области теории и технологии процессов обработки металлов давлением. Представлены также термины, связанные с материаловедением и отражающие процессы формирования заданных структуры и свойств готовой металлопродукции. За основу содержания словаря взят запас терминов, приведенных в издании: Толковый металлургический словарь. Основные термины / Г.А. Лопухов, В.А. Цирульников, В.И. Куманин и др.; Под ред. В.И. Куманина. М.: Рус. яз., 1989. 446 с.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия» в соответствии с программами бакалавриата и магистратуры.

Учитывая большое разнообразие терминов, используемых при описании процессов обработки металлов давлением, а также неоднозначность определений и различие в их трактовках, просим специалистов высказать свое мнение по составу и терминологии и направить свои замечания и предложения по адресу электронной почты gon@misis.ru.

ISBN: 978-5-87623-405-6

Страницы: 130

Переплет: мягкий

Язык: Русский

Год издания: 2011



Реклама

По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6,
стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.

Эл. почта: books@rudmet.ru

Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
Издательский дом

УДК 669.046.552.5

НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДИФФУЗИОННОГО РАСКИСЛЕНИЯ В АГРЕГАТЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ

В. А. ЧАЙКИН, А. В. ЧАЙКИН, А. Д. КАСИМГАЗИНОВ, П. О. БЫКОВ*

Исследована новая раскислительная смесь, обладающая уникальными физико-механическими, технологическими и функциональными свойствами, отличительным признаком которой является дисперсность компонентов. Повышение эффективности раскисления и десульфурации стали происходит в результате существенного увеличения в системе числа активных центров реагирующих частиц, межфазной поверхности и принудительного перемешивания шлаков. Процессы раскисления и десульфурации проводили в агрегате комплексной обработки сталей. В качестве исследуемого металла использовали стали 25Г2С, 35ГС, 65Г и 70Г. Установлено, что при применении новой смеси концентрации FeO в шлаках снизились на 29,3 %, MnO — на 60,2 %, а коэффициент десульфурации стали повысился с 25,48 до 41,33 %. Расход ферросплавов снизился с 1 до 0,41 кг/т. Время восстановительного периода сократилось на 10 мин. Ожидаемый экономический эффект составляет свыше 3 млн. рублей.

Ключевые слова: сталь, шлак, модифицирование, диффузионное раскисление, десульфурация, статистический анализ.

Введение

Наибольшее распространение в мире получают агрегаты, работающие со стратегией минимизации затрат, что обычно характерно при производстве стали массового сортамента [1]. Практическая реализация этой схемы оказалась возможной в последнее десятилетие благодаря большому прогрессу в области технологии электроплавки (уменьшение цикла плавки до 30–60 мин [2]). В течение последних двух десятилетий также непрерывно совершенствовались агрегаты комплексной обработки сталей (АКОС) в конструкционном и технологическом плане [3]. Это позволило достичь весьма высоких показателей качества стали, а также относительно энерго- и ресурсосбережения в технологической системе ее выплавки и разлива [4]. Кроме того, на практике убедительно доказана высокая кон-

курентоспособность АКОС практически для всего диапазона вместимости сталеразливочных ковшей: от 15 до 350 т [5]. В состав АКОС входят средства для перемешивания металла инертным газом, система подачи ферросплавов и материалов для рафинирования стали в ковше. В настоящее время непрерывный ввод различных веществ (углерода, раскислителей, модификаторов) проводят с применением порошковой проволоки при помощи специального трайб-аппарата, состоящего из подающего и разматывающего устройств.

Сталеплавильный завод ПФ ТОО «КАСТИНГ», Павлодар, Казахстан, использует преимущества АКОС при производстве строительной арматуры диаметром 12–32 мм из стали 25Г2С, 35ГС, шаров стальных мелющих диаметром 40–100 мм из сталей 65Г и 70Г, а также непрерывнолитых квадратных заготовок для дальнейшего передела сечением 150×150 мм из сталей ст3пс/3сп, ст5пс/5сп, ст20 и ст80. Заготовки получают на установке непрерывной разлива стали (УНРС). Выплавка стали осуществляется на комплексе из дуговой сталеплавильной печи ДСП30-2Н и АКОС емкостью 30 т. В ДСП происходят расплавление шихты и окислительный период, и получают полупродукт. Восстановительный период и доводку металла по химическому составу производят в АКОС. Во время обработки стали через днище ковша осуществляется продувка металла инертным газом (аргоном) для перемешивания металла с целью усреднения его по химическому составу и температуре и выведению неметаллических включений из металла.

* *ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия:*

докт. техн. наук В. А. Чайкин, профессор кафедры «Технологии металлургических и литейных процессов»;

Российская ассоциация литейщиков, Смоленское региональное отделение, Сафоново, Россия:

канд. техн. наук А. В. Чайкин, технический директор;

ПФ ТОО «Кастинг», Павлодар, Республика Казахстан:

А. Д. Касимгазинов, главный технолог;

Павлодарский государственный университета им. С. То-райгырова, Павлодар, Республика Казахстан:

канд. техн. наук П. О. Быков, проректор по академической работе;

эл. почта: sro_ral@mail.ru

© Чайкин В. А., Чайкин А. В., Касимгазинов А. Д., Быков П. О., 2018

Целью данной работы является исследование и внедрение прогрессивной дисперсной смеси для диффузионного раскисления стали для повышения эффективности процесса раскисления, десульфурации и уменьшения времени восстановительного периода в АКЭС, что является актуальной задачей.

В связи с этим проведены работы по испытанию и внедрению раскислителя диффузионного алюмосодержащего (РДА) для сталей, производимого ООО «Металлург» Смоленского регионального отделения Российской ассоциации литейщиков по ТУ 0826-003-47647304-2001. Раскислитель применили вместо традиционных смесей, состоящих из извести, ферросилиция ФС65 и плавикового шпата. РДА представляет собой смесь порошков углерод-, кремний- и алюмосодержащих материалов. Основное отличие порошков заключается в том, что они получены физико-химическим путем и обладают высокой дисперсностью, что придает смеси новые свойства [6, 7]. Кроме того, в состав смеси введено оптимальное количество поверхностно активных веществ, состоящих из кальций-стронциевого карбоната, соединений калия и натрия, которые придают ей жидкоподвижность и еще больше активизируют [8, 9].

Теоретическое обоснование

Дисперсные и ультрадисперсные материалы все чаще применяют в производственных условиях для интенсификации процессов [10, 11]. Преимущества измельчения материалов можно увидеть на примере карбоната кальция, который диссоциируя, дополнительно перемешивает и вспенивает шлак, повышает его основность. Взаимодействие карбоната кальция со шлаком протекает на поверхности раздела фаз. При измельчении твердого тела увеличивается его общая поверхность при неизменном суммарном объеме и массе, т. е. по мере роста дисперсности увеличивается удельная поверхность системы. Количественные изменения приводят к возникновению нового качества. С физико-химической точки зрения важнейшим следствием увеличения дисперсности является возрастание удельной реакционной способности твердых тел, называемой часто активностью. Оценим изменение процесса реакционной способности порошков с различной дисперсностью.

Рассмотрим два монодисперсных порошка CaCO_3 , состоящих из сферических частиц с радиусами r_1 и r_2 . Исходя из того, что мольный объем $V = M/d$, и считая, что все частицы представляют собой сферы одинакового радиуса, найдем количество частиц, содержащихся в одном моле рассматриваемых порошков:

$$n_1 = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi dr_1^3}; \quad (1)$$

$$n_2 = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi dr_2^3}, \quad (2)$$

где M — молекулярная масса; d — плотность порошка.

Рассчитаем суммарную площадь поверхности частиц радиусами r_1 и r_2 и соответствующую свободную поверхностную энергию:

$$S_1 = \frac{4\pi r_1^2 V}{\frac{4}{3}\pi r_1^3} = 3\frac{V}{r_1}; \quad (3)$$

$$F_1 = \frac{3\sigma V}{r_1}; \quad (4)$$

$$S_2 = \frac{4\pi r_2^2 V}{\frac{4}{3}\pi r_2^3} = 3\frac{V}{r_2}; \quad (5)$$

$$F_2 = \frac{3\sigma V}{r_2}, \quad (6)$$

где S_1 — площадь поверхности частиц радиусом r_1 в объеме V ; S_2 — площадь поверхности частиц радиусом r_2 в объеме V .

Различная активность порошков реализуется как разность величин их свободной поверхностной энергии в виде изотермической разности химических потенциалов. Таким образом, в расчете на один грамм моль растворов

$$\mu_1 - \mu_2 =_{\Delta} \mu = \sigma(S_1 - S_2) = \sigma\left(\frac{3V}{r_1} - \frac{3V}{r_2}\right), \quad (7)$$

где μ — химический потенциал компонентов.

Для первого порошка приближенно можно записать

$$\mu_1 = \mu_0 + RT \ln a_1, \quad (8)$$

где μ_0 — химический потенциал компонентов в стандартном его состоянии; R — универсальная газовая постоянная; T — температура, К; a — активность.

Соответственно для другого порошка

$$\mu_2 = \mu_0 + RT \ln a_2. \quad (9)$$

Тогда

$$\mu_1 - \mu_2 =_{\Delta} \mu = RT \ln \frac{a_1}{a_2}. \quad (10)$$

Приравняв правые части выражений (7) и (10), получаем

$$RT \ln \frac{a_1}{a_2} = \sigma\left(\frac{3V}{r_1} - \frac{3V}{r_2}\right);$$

$$\ln \frac{a_1}{a_2} = \frac{3V\sigma}{RT}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

или

$$\ln \frac{a_1}{a_2} = \frac{3M\sigma}{RTd} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (11)$$

При диссоциации порошков разность величин их свободной поверхностной энергии реализуется в виде изотермической работы диссоциации. Таким образом, в расчете на один грамм моль растворов имеем

$$A_1 - A_2 = \Delta A = \sigma (S_1 - S_2) = \sigma \left(\frac{3V}{r_1} - \frac{3V}{r_2} \right). \quad (12)$$

С другой стороны, для карбоната с радиусом частиц r_1 приближенно можно записать

$$A_1 = A_0 + RT \ln K_{p1}, \quad (13)$$

а для карбоната с радиусом частиц r_2

$$A_2 = A_0 + RT \ln K_{p2}, \quad (14)$$

тогда

$$A_1 - A_2 = \Delta A = RT \ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}}. \quad (15)$$

Приравняв правые части выражений (12) и (15), получаем

$$RT \ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \sigma \left(\frac{3V}{r_1} - \frac{3V}{r_2} \right);$$

$$\ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \frac{3V\sigma}{RT} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

или

$$\ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = \frac{3M\sigma}{RTd} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (16)$$

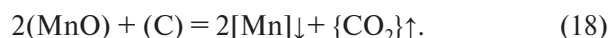
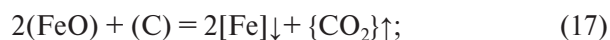
Из уравнений (12) и (16) следует, что при уменьшении размеров частиц твердого тела активность системы и процесс диссоциации карбонатов активизируются. В общем случае можно сделать вывод, что чем больше дисперсность системы, тем выше ее реакционная способность или физико-химическая активность.

Основная и важнейшая особенность дисперсного состояния заключается в том, что значительная доля свободной энергии системы сосредоточена в межфазных поверхностных слоях. Избыток свободной энергии делает дисперсные системы термодинамически неустойчивыми. Для них характерны самопроизвольные процессы, стремящиеся снизить этот избыток различными путями. Таким образом, избыток свободной энергии будет потрачен на изменение химического состояния вещества, т. е. на диссоциацию карбонатов. Диссоциация будет максимально облегчена и произойдет максимально быстро.

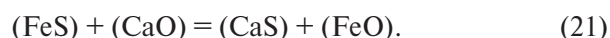
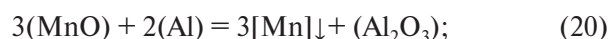
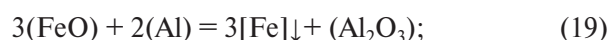
Путем аналогичных расчетов можно сделать вывод о влиянии диспергирования на реакционную способность или физико-химическую активность карбоната стронция, углерода, кремния, а соответ-

ственно, и на кинетические характеристики реакции раскисления.

При подаче РДА на шлак дисперсные компоненты смеси способствуют равномерному распределению материала по поверхности шлака за короткий промежуток времени. Карбонаты кальция и стронция, входящие в состав смеси, мгновенно диссоциируют на CaO, SrO и CO₂. Оксиды Ca и Sr повышают основность и сульфидоёмкость шлака. CO₂ способствует перемешиванию РДА со шлаком. Входящие в состав РДА соединения натрия, калия и оксиды алюминия способствуют разжижению шлака и делают его реакционноспособным. Кроме того, дисперсный углеродсодержащий материал дополнительно вспенивает шлак за счет протекания реакции восстановления оксидов из шлака по реакциям



Вспененный жидкоподвижный шлак экранирует дуги, способствует быстрому нагреванию шлака и металла [12]. Таким образом, создаются идеальные условия для дальнейшего протекания реакций восстановления оксидов из шлака присутствующими в РДА алюминием и кремнием, а также реакций десульфурации:



В результате сокращается время восстановительного периода, экономится электроэнергия. Образующийся оксид алюминия Al₂O₃ продолжает разжижать шлаки и повышать их основность. В результате раскисления оксиды железа и марганца восстанавливаются в шлаке и согласно закону распределения переходят в металл, а из металла в шлак уходят FeO и MnO, где восстанавливаются РДА. Сульфиды также переходят в шлак согласно закону распределения. Таким образом, сталь оказывается с более низкими содержаниями оксидов и серы. За счет уменьшения в стали неметаллических включений и оксидных плен повышается жидкотекучесть расплава.

Методика исследований

Исследования проводили на сталях 25Г2С, 35ГС, 65Г, 70Г, а также ст3пс/3сп, ст5пс/5сп, ст20 и ст80, выплавленных в электродуговых печах ДСП30-Н2 с доводкой расплава по качеству в АКOC емкостью 30 т. Образцы для определения физико-механи-

Таблица 1.
Результаты химического анализа шлаков плавки № 3460522

№ пробы	Химический состав шлаков, %							
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Основность	Σ
До РДА	4,4	23,3	1,6	48,6	6,4	11,6	2,1	96,1
После РДА	0,6	26,1	2,2	56,7	5,3	1,1	2,1	91,0

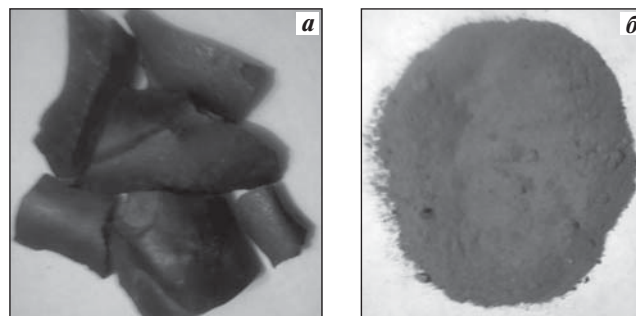
ческих свойств сталей и шлаков брали непосредственно из АКОС. Диффузионное раскисление в АКОС проводили раскислительной смесью РДА. Раскисление проводили после взятия второй пробы на химический состав металла за 20–25 мин до отдачи ковша с металлом на УНРС. В ковш присаживали 10 кг РДА. Химический состав стали определяли на спектрометре QLS-750. В качестве образцов использовали пяточковые пробы, получаемые с использованием разовых пробоотборников. Шлаки отбирали ложкой в АКОС и выливали на металлическую плиту. Качество шлаков анализировали визуально и химическими методами. В работе широко применяли статистическую обработку результатов исследований с использованием компьютерной программы STATISTICS & ANALISIS [13, 14].

Обсуждение результатов

Провели 90 экспериментальных плавки сталей с использованием РДА. Рациональной присадкой оказалось 10 кг смеси. После присадки РДА происходило интенсивное раскисление и разжижение шлака, сопровождающееся его вспениванием, о чем свидетельствовала стабилизация горения дуг с равномерным и тихим гудением. После окончания реакции визуально шлак был жидкоподвижным и реакционноспособным. Перед отдачей ковшей на УНРС отбирали пробы шлака на анализ. Шлак был белого цвета и в процессе охлаждения рассыпался в белый порошок (рисунок, б). Пробы шлака одной из плавки (№ 3460522) приведены на рисунке и в табл. 1.

Как видно из табл. 1, шлак до обработки РДА содержал большое количество FeO (4,4 %) и MnO (11,6 %), чем объясняется его черный цвет (см. рисунок, а). После обработки шлака РДА содержание FeO и MnO в шлаке резко уменьшилось, что свидетельствует о высокой эффективности РДА.

Такая тенденция прослеживалась во всех экспериментальных плавках. Провели статистическую обработку химических составов шлаков экспериментальных и рядовых плавки. Результаты компонентных составов



Шлак до раскисления РДА (а) и после (б)

шлаков, полученных с применением традиционных смесей для диффузионного раскисления стали и с применением РДА, приведены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, концентрации FeO в шлаках снизились на 29,3 %, а MnO — на 60,2 %. Соответственно, концентрации этих оксидов уменьшатся и в металле, что повысит механические свойства сталей. Намечается тенденция к экономии марганецсодержащих ферросплавов. Кроме того, применение РДА способствует повышению основности шлаков, снижает концентрации FeO, что положительно сказывается на процессе десульфурации расплава по реакции (21) [15, 16]. Известно, что для успешной десульфурации стали по реакции (15) необходимы высокие основность, жидкоподвижность и реакционная способность шлаков, а также высокая температура процесса и низкая концентрация FeO [17, 18]. Все эти условия создает применение РДА в качестве диффузионного раскислителя. Это подтверждено статистической обработкой содержаний серы в сталях. Анализировали количество серы в начальный и конечный моменты обработки стали.

Таблица 2.
Результаты статистической обработки химических составов шлаков

	Среднее значение	Минимум	Максимум	Дисперсия S ²	Среднеквадратическое отклонение S	Коэффициент вариации, %
FeO	1,35833 1,91667	0,30000 0,60000	3,00000 4,40000	0,686288 0,957879	0,828425 0,978713	60,7 50,7
SiO ₂	24,90833 27,29167	22,10000 25,20000	26,70000 29,50000	1,728106 1,824470	1,314574 1,350729	5,2 4,9
Al ₂ O ₃	1,88333 1,48333	1,40000 1,20000	2,20000 1,70000	0,056061 0,019697	0,236771 0,140346	12,2 9,4
CaO	54,50833 49,38333	51,70000 46,00000	57,50000 51,40000	4,395379 2,617879	2,096516 1,617986	3,8 3,2
MgO	5,65000 7,70000	3,80000 5,50000	6,70000 11,90000	0,899091 4,007273	0,948204 2,001817	16,8 25,9
MnO	1,95000 4,90833	0,80000 2,10000	3,00000 9,00000	0,520909 4,368106	0,721740 2,090001	36,9 42
Основность	2,19167 1,81667	2,00000 1,70000	2,60000 2,00000	0,031742 0,008788	0,178164 0,093744	8,6

Примечание. В числителе указаны результаты плавки с применением раскислительных смесей РДА, в знаменателе — с традиционными смесями.

Выводы

Таблица 3.
Результаты десульфурации опытных и рядовых плавков

	Среднее значение	Минимум	Максимум	Средне-квадратичное отклонение S	Дисперсия S ²	Коэффициент вариации V, %
Содержание серы до десульфурации, %	0,0433 0,0412	0,031 0,030	0,063 0,053	0,0001 0,0000	0,0071 0,0060	16,48 14,76
Содержание серы после десульфурации %	0,0251 0,0307	0,009 0,013	0,041 0,045	0,0000 0,0000	0,0063 0,0066	15,33 24,38

Примечание. В числителе указаны результаты плавков с применением раскислительных смесей РДА, в знаменателе — с традиционными смесями.

Полученные результаты сравнивали с данными, полученными при статистической обработке рядовых плавков. Результаты обработки представлены в табл. 3.

Согласно данным табл. 3, средние начальные значения содержания серы в опытных плавках выше, чем в рядовых. При этом конечные концентрации серы больше в рядовых плавках, чем в опытных. Минимальное содержание серы в опытных плавках снизилось до 0,009 %, а максимальное почти достигло верхнего контрольного предела. Повысился также коэффициент десульфурации — с 25,48 до 41,33 %. В экспериментальных плавках десульфурация протекает более стабильно.

Таким образом, подтверждается повышение эффективности и стабилизации удаления серы из стали.

В ходе проведенных экспериментов установлено, что применение РДА не требует дополнительной подготовки к использованию. Смесь поступает к заказчику в готовом к употреблению виде в пакетах по 10 кг. Применение РДА позволяет облегчить ручной труд сталеваров при проведении диффузионного раскисления; экономично и равномерно распределить смесь по поверхности шлака и наладить контроль за рациональным расходом материала и снизить время восстановительного периода на 10 мин. Это является важным преимуществом материала. Шлак после обработки РДА остается жидким. Разливка проходит в штатном режиме. С применением РДА было выплавлено, обработано и разлито 2704,82 т заготовок. Углеродсодержащий материал и ФС65 исключили из процесса диффузионного раскисления. Расход плавикового шпата был уменьшен на 50 %. Средний расход РДА за данный период составил 0,41 кг/тн (для сравнения: расход ФС65 для диффузионного раскисления составляет 1 кг/тн).

На основании проведенных опытно-промышленных испытаний принято решение внедрить процесс диффузионного раскисления РДА в производство. Ожидаемый экономический эффект составляет около 3 млн. руб.

подтверждены.

2. Установлено, что внедрение разработанной раскислительной смеси позволило резко повысить эффективность раскисления и десульфурации стали за счет существенного увеличения в системе числа активных центров реагирующих частиц и межфазной поверхности, принудительного перемешивания шлаков из-за диссоциации карбонатов. Концентрации FeO в шлаках снизились на 29,3 %, а MnO — на 60,2 %. Повысился коэффициент десульфурации стали с 25,48 до 41,33 %. Кроме того, процесс десульфурации существенно стабилизировался. Время восстановительного периода уменьшено на 10 мин.

3. Выявлены преимущества смеси, заключающиеся в том, что ее применение не требует дополнительной подготовки к использованию. Смесь фасуется в пакеты по 10 кг, что позволяет снизить трудоемкость ручного труда сталеваров при проведении диффузионного раскисления стали, улучшает экологические условия труда в цехе, облегчает контроль за ее рациональным использованием. В результате внедрения уменьшился расход ферросплавов с 1 до 0,41 кг/т. Ожидаемый экономический эффект составляет свыше 3 млн. руб. ЧМ

Библиографический список

1. Сталь на рубеже столетий / под научной ред. Ю. С. Карабасова. — М.: «МИСиС», 2001. — 664 с.
2. Золотухин В. И., Гордеев Е. И., Провоторов Д. А., Головки А. Г. Современные сталеразливочные системы для литейных и машиностроительных производств // Литейщик России. 2016. № 9. С 15–17.
3. Dorantes M., Noradino P., Maximiliano M. G. Type-2 fuzzy logic systems for temperature evaluation in ladle furnace // IEEE Latin America Transactions. 2016. Vol. 14, Iss. 8. P. 3914–3920.
4. Attila G. C. Refining steel in an induction ladle furnace // Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara. 2015. Vol. 13, Iss. 3. P. 197–200.
5. Severstal plans upgrades to steel works, orders new ladle furnace // Iron & Steel Technology. 2016. Vol. 13, Iss. 4. P. 8.
6. Чайкин В. А., Чайкин А. В., Колколова А. В. и др. Совершенствование технологии выплавки сталей в ООО «Самарский завод технического литья» с применением дисперсных материалов // Тр. XI съезда литейщиков России. — Екатеринбург. 16–20 сентября 2013. С. 78–83.
7. Чайкин В. А., Чайкин А. В. Рафинирование сталей и чугунов дисперсными модификаторами при выплавке в дуговых и индукционных электропечах // Тр. XII съезда литейщиков России. —

- Нижний Новгород, 2015. С. 155–159.
8. Вдовин К. Н., Феоктистов Н. А., Пивоварова К. Г. и др. Флюсы для электрошлакового переплава конструкционных сталей // *Электротехнология*. 2017. № 4. С. 13–19.
 9. Чайкин В. А., Чайкин А. В. Применение диффузионных раскислительных и рафинирующих смесей при выплавке сталей и чугунов в электродуговых печах // Тр. международной научно-практической конференции «Литейное производство сегодня и завтра» / под ред. Г. А. Косникова — СПб. : Культ-информ-пресс, 2014. С. 161–164.
 10. Heput T., Ardelean E., Socalici A., Osaci M., Ardelean M. Steel deoxidation with synthetic slag // *Metalurgia International*. 2010. Vol. 15, Iss. 7. P. 22–28.
 11. Жеребцов С. Н., Чернышев Е. А. Влияние модифицирования ультрадисперсными порошковыми комплексами на структуру сплавов // Тр. VIII Междунар. науч.-практич. конференции «Прогрессивные литейные технологии». 16–20 ноября 2015, «МИСИС», С. 142–145.
 12. Кожухов А. А. Оценка коэффициента использования тепла электрических дуг при плавке под вспененным шлаком в современных ДСП // *Электротехнология*. 2015. № 6. С. 3–9.
 13. Сидняев Н. И. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для бакалавров. — М. : Юрайт, 2015. — 219 с.
 14. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. — М. : Юрайт, 2014. — 495 с.
 15. Guo J., Cheng S., Cheng Z. Characteristics of Deoxidation and Desulfurization during LF Refining Al-killed Steel by Highly Basic and Low Oxidizing Slag // *Journal of Iron and Steel Research International*. 2014. Vol. 21, Iss. 2. P. 166–173.
 16. Турсунов Н. К., Саноккулов Э. А., Семин А. Е. Исследование процесса десульфурации конструкционной стали с использованием твердых шлаковых смесей и РЗМ // *Черные металлы*. 2016. № 4. С. 32–37.
 17. Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др. Производство стальных отливок : учебник для вузов / под ред. Л. Я. Козлова. — М. : «МИСИС», 2003. — 352 с.
 18. Putan V., Putan A., Ardelean E. Influence of the addition of a reducing mixture slag and duration of treatment on the desulphurization and deoxidation efficiency // *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 254. P. 144–148.

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 10–15

THE NEW MATERIAL FOR STEEL DIFFUSIVE DEOXIDIZING IN THE UNIT FOR COMPLEX STEEL TREATMENT

V. A. Chaikin¹, Dr. Eng., Prof.
 A. V. Chaikin², Cand. Eng., Technical director
 A. D. Kasimgazinov³, Chief technologist
 P. O. Bykov⁴, Cand. Eng., Vice rector on academic work

- ¹ Nosov Magnitogorsk state technical university (Magnitogorsk, Russia)
- ² Smolensk regional branch of the Russian association of foundrymen (Smolensk, Russia)
- ³ “Casting” LLC (Pavlodar, Kazakhstan)
- ⁴ Toraygirov Pavlodar state university (Pavlodar, Kazakhstan)

E-mail: sro_ral@mail.ru; chaika1983@inbox.ru;
 kasimgazinov@pf.casting.kz; bykov_petr@mail.ru

Abstract: Efficiency of diffusive steel deoxidizing by dispersing mixtures has been proven theoretically and confirmed in comparison with traditional mixtures. Deoxidizing and desulfurization processes were conducted in the units for complex steel treatment. Steel grades 25G2S (25Г2С), 35GS (35ГС), 65G (65Г), 70G (70Г) were used as a research material. The diffusive deoxidizer RDA presented by a mixture of carbon and silicon powders, as well as aluminium-containing materials was used to improve the deoxidizing efficiency. These powders have the especial properties, the main of which is their high dispersity, which brings new features to the mixture. RDA usage does not need any additional preparation. The mixture is packed in plastics bags in the amount of 10 kg each, which allows to decrease the amount of steelmakers' hand labor and recovering period time by 10 minutes. RDA usage finalized in lowering of FeO concentration in a slag by 29.3% and MnO — by 60.2%, while desulfurization coefficient increased from 25.48 to 41.33%. The amount of used ferroalloys and fluorspar decreased by half. The expected economic effect is more than 3 million rubles.

Key words: steel, slag, complex steel treatment, statistical processing, modifying, diffusive deoxidizing, powder mixtures.

References:

1. Steel at the turn of the century. Under scientific edition of Karabassov Yu. S. Moscow: “MISIS”, 2001. 664 p.
2. Zolotukhin V. I., Gordeev E. I., Provotorov D. A., Golovko A. G. State-of-the-art steel pouring systems for foundries and machine building plants. *Liteyshchik Rossii*. 2016. No. 9. pp. 15–17.
3. Dorantes M., Noradino P.; Maximiliano M. G. Type-2 fuzzy logic systems for temperature evaluation in ladle furnace. *IEEE Latin American Transactions*. 2016. Vol. 14, Iss. 8. pp. 3914–3920.
4. Attila G. C. Refining steel in an induction ladle furnace. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*. 2015. Vol. 13, Iss. 3. pp. 197–200.
5. Severstal plans upgrades to steel works, orders new ladle furnace. *Iron & Steel Technology*. 2016. Vol. 13, Iss. 4. p. 8.
6. Chaikin V. A., Chaikin A. V., Kolkolova A. V. et al. Improvement of the technology for melting steels in the “Samara Plant for technical castings” company using disperse materials. *Proceedings of the XI Congress of Russia's foundry workers*. Yekaterinburg. 16–20 September 2013. pp. 78–83.
7. Chaikin V. A., Chaikin A. V. Refining of steels and iron by disperse modifies during melting in electricarc and induction furnaces. *Proceedings of the XII Congress of Russia's foundry workers*. Nizhny Novgorod. 2015. pp. 155–159.
8. Vdovin K. N., Feoktistov N. A., Pivovarova K. G. et al. Fluxes for electroslog remelting of structural steels. *Elektrometallurgiya*. 2017. No. 4. pp. 13–19.
9. Chaikin V. A., Chaikin A. V. Application of diffusion deoxidizing and refining mixtures during melting steels and irons in electric arc furnaces. *Proceedings of International scientific and practical conference: Foundry today and tomorrow*. Edited by Kosnikov G. A. St. Petersburg: Kult-inform-press. 2014, pp. 161–164.
10. Heput T., Ardelean E., Socalici A., Osaci M., Ardelean M. Steel deoxidation with synthetic slag. *Metalurgia International*. 2010. Vol. 15, Iss. 7. pp. 22–28.
11. Zherebtsov S. N., Chernyshev E. A. Effect of modification by ultra-dispersed powder complexes on alloy structure. *Proceedings of XIII International scientific and practical conference “Advanced foundry technologies”*. 16 – 20 November 2015, “MISIS”, pp. 142–145.
12. Kozhukhov A. A. Estimation of electric arcs available heat factor during melting under foamed slag in the state-of-the art EAFs. *Elektrometallurgiya*. 2015. No. 6. pp. 3–9.
13. Sidnyaev N. I. Probability theory and mathematical statistics: tutorial for bachelors. Moscow: Yurayt, 2015. 219 p.
14. Sidnyaev N. I. The theory of planning an experiment and analysis of statistical data. Moscow: Yurayt, 2014. 495 p.
15. Guo J., Cheng S., Cheng Z. Characteristics of Deoxidation and Desulfurization during LF Refining Al-killed Steel by Highly Basic and Low Oxidizing Slag. *Journal of Iron and Steel Research International*. 2014. Vol. 21. Iss. 2. pp. 166–173.
16. Tursunov N. K., Sanokulov E. A., Semin A. E. Study of desulfurization process of structural steel using solid slag mixtures and rare earth metals. *Chernye metalli*. 2016. No. 4. pp. 32–37.
17. Kozlov L. Ya., Kolokoltsev V. M., Vdovin K. N. et al. Production of steel castings: tutorial. Edited by Kozlov L. Ya. Moscow: “MISIS”, 2003. 352 p.
18. Putan V., Putan A., Ardelean E. Influence of the addition of a reducing mixture slag and duration of treatment on the desulphurization and deoxidation efficiency. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 254. pp. 144–148.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. ШЕВЧЕНКО, А. Н. ШАПОВАЛОВ, Е. В. БРАТКОВСКИЙ*

В настоящее время производство стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) является одним из наиболее эффективных и перспективных способов получения металла заданного химического состава. Повышение стойкости футеровки путем применения новых высококачественных огнеупоров хотя и снижает степень износа футеровки, но требует больших вложений и не позволяет решить проблему эффективной работы футеровки дуговой печи без правильного подбора рациональных параметров шлакового режима. В связи с этим проблема подбора шлакообразующих материалов практически значима и актуальна.

Представлены материалы исследований, проведенных в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) АО «Уральская Сталь». Цель — повышение стойкости и срока службы футеровки дуговых печей в результате разработки научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию шлакового режима электроплавки.

Для разработки рекомендаций по повышению стойкости футеровки проведен анализ опытных данных о работе ДСП № 2 ЭСЦ АО «Уральская Сталь» в период опытно-промышленных испытаний магнезиальных шлакообразующих материалов (крупность 10–50 мм) с низким (10–15 %) и высоким (85–90 %) содержанием MgO.

Получены экспериментальные данные о влиянии магнийсодержащих добавок на стойкость футеровки дуговой печи. Разработаны рекомендации по оптимизации режима шлакообразования путем подбора шлакообразующих материалов, которые позволяют продлить срок службы футеровки и снизить затраты на производство стали.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, футеровка печи, стойкость футеровки, шлаковый режим, шлакообразующие материалы, магнийсодержащие добавки, гарнисаж.

Введение

Повышение стойкости футеровки дуговой сталеплавильной печи (ДСП) требует комплексного подхода и во многом зависит как от конструктивных особенностей печи и качества огнеупорных материалов, так и от условий плавки: состава шихтовых материалов, шлакового режима, технологических параметров.

Проведенные в работах [1–7] исследования показывают, что шлак, контактирующий с футеровкой при высоких температурах, может вступать в химическое взаимодействие с ней с образованием новых переходных фаз — сплавов шлака и материала огнеупора. Если вновь образовавшиеся фазы имеют низкую температуру плавления, то они могут стекать или смываться шлаком (или металлом) с поверхности огнеупора, ускоряя его износ.

* *Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Новотроицк, Россия:*

канд. техн. наук Е. А. Шевченко, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования (МТiO); канд. техн. наук А. Н. Шаповалов, доцент, заведующий кафедрой МТiO; канд. техн. наук Е. В. Братковский, доцент кафедры МТiO;

эл. почта: shevchenko.E.A@yandex.ru

© Шевченко Е. А., Шаповалов А. Н., Братковский Е. В., 2018

Если вновь образовавшиеся фазы являются огнеупорами (шпинели, гексаалюминат кальция и др.), они могут заполнять поры в материале футеровки и мешать дальнейшему проникновению расплавов в поры футеровки. Таким образом, в процессе плавки стали происходит неизбежное взаимодействие металла и шлака с футеровкой печи, в результате которого образуются сложные тугоплавкие (способствующие формированию защитного гарнисажа на поверхности футеровки) и легкоплавкие (приводящие к разрушению футеровки и переходу ее компонентов в шлак) соединения. Поэтому соблюдение рационального шлакового режима является обязательным условием, во многом определяющим стойкость футеровки печи.

Исследование шлакового режима электродуговой плавки проводили по данным о работе ДСП № 2 АО «Уральская Сталь» емкостью 120 т. Анализ шлакового режима плавки проводили за период январь — июнь 2017 г. По результатам исследования, представленным в **табл. 1**, можно сделать ряд предварительных выводов о шлаковом режиме плавки:

— химический состав печного шлака колеблется в достаточно широких пределах, что неизбежно отражается на показателях плавки;

— повышенная окисленность шлака, что связано с высокой интенсивностью окислительного рафи-

нирования и получения полупродукта с содержанием углерода до 0,1 %; это ведет к образованию легкоплавких соединений на основе оксидов железа, агрессивных по отношению к футеровке и не способствующих формированию защитного гарнисажа;

— пониженное содержание магнезии в шлаке (среднее значение по нижнему рекомендуемому пределу), которое способствует повышению устойчивости шлаков, снижает его агрессивное воздействие на футеровку (образуя соединения с оксидами железа) и образует тугоплавкие соединения ($MgO \cdot FeO$, $MgO \cdot Fe_2O_3$, $MgO \cdot Cr_2O_3$ и др.), участвующие в формировании защитного гарнисажа на поверхности футеровки печи.

Таким образом, шлаковый режим электродуговой плавки в условиях АО «Уральская Сталь» необходимо совершенствовать с целью повышения стойкости футеровки и улучшения энерготехнологических показателей.

Исходные данные и методика исследования

Для разработки рекомендаций по повышению стойкости футеровки был проведен анализ опытных данных о работе ДСП № 2 ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» в период опытно-промышленных испытаний магнезиальных шлакообразующих материалов (крупность 10–50 мм) с низким (10–15 %) и высоким (80–90 %) содержанием MgO. Данные о химическом составе испытываемых магнийсодержащих материалов представлены в табл. 2.

В исследуемые периоды футеровка печи была выполнена из периклазоуглеродистых изделий с содержанием MgO более 90 % поставки ООО «Группа «Магнезит».

Для оценки степени влияния флюса на расход огнеупоров и стойкость футеровки электропечей были рассмотрены результаты эксплуатации законченных кампаний футеровок ДСП № 2 в период использования опытного материала на плавках текущего сортамента. В качестве сравнительного

Таблица 1.
Химический анализ печного шлака

Химический состав	Содержание компонента шлака, %*						Основность, ед.
	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	
Фактический	27,0–45,5 37,3	11,1–24,2 16,9	11,0–29,8 22,6	2,4–6,1 4,1	3,1–13,8 7,0	1,9–8,8 3,4	1,6–3,2 2,2
Рекомендуемый**	40–50	15–20	5–25	5–10	8–10	3–5	2–3

* В числителе — интервал значений, в знаменателе — среднее значение.
** Усредненные данные, полученные при анализе источников [8–26].

Таблица 2.
Химический состав испытываемого магнезиального шлакообразующего материала

Материал	Химические элементы, %					
	MgO	CaO	SiO ₂	FeO + Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	п.п.п
1	82,0	До 5	До 5	До 1,5	До 1,5	До 5
2	11–12	4,5	5–7	38–40	До 2,0	34–36

Таблица 3.
Состав и расход шихтовых материалов

Технология	Масса шихтовых материалов (в завалку с металлошихтой),* т						
	Лом 3А	Жидкий чугун	Обрезь листового проката	Лом	НБИ**	Другие	Итого в завалку
Базовый вариант	20–60 45,1	35–70 58,3	5–15 10,6	4–16 8,2	0–20 9,97	3–15 7,2	130–150 139,4
С материалом № 1	37–45 42,3	50–60 59,1	9–13 11,2	7–10 9,0	8–13 11,1	5–10 7,8	138–142 140,5
С материалом № 2	39–47 43,6	50–60 58,4	8–12 10,5	7–10 8,5	8–12 10,5	5–10 7,5	137–142 139,0

* В числителе — интервал значений, в знаменателе — среднее значение.
** НБИ (Hot Briquetted Iron) — горячебрикетированное железо.

варианта рассматривали результаты эксплуатации предыдущих и последующих полукампаний ДСП № 2 с серийно применяемой технологией шлакообразования в печи.

Результаты исследований и их анализ

Технологические параметры работы исследуемой печи и результаты испытаний опытных магнезиальных шлакообразующих материалов представлены в табл. 3–6.

Таблица 4.
Состав и расход добавочных материалов*

Технология	Расход добавочных материалов в ДСП									
	В завалку, т		Известь, т	Доломит, т	Испытуемый материал, т	Кокс сверху, т	Коксовая мелочь (вдувание), т	Кислород, тыс. м ³	Газ, тыс. м ³	НБИ сверху, т
	Известь	Доломит								
Базовый вариант	2,5–3,1 2,9	0,8–1 0,9	1,5–3,2 2,45	0–1,1 0,67	–	0,6–1,4 0,85	0,4–1,2 0,75	5,7–7,2 6,171	0,38–0,61 0,426	0,5–1,2 1,027
С материалом № 1	2,5–3,0 2,8	0,8–1,1 1,0	1,9–2,7 2,15	0–0,19 0,11	0,65–0,95 0,73	0,7–1,0 0,87	0,5–1,0 0,72	6,0–7,0 6,712	0,4–0,51 0,487	0,75–0,95 0,839
С материалом № 2	2,8–3,1 3,0	0,9–1,2 1,1	0,8–1,3 1,03	0–1,1 1,0	1,58–2,3 1,98	0,7–1,0 0,86	0,5–1,0 0,74	6,0–6,9 6,321	0,41–0,52 0,461	0,7–0,95 0,848

* В числителе — интервал значений, в знаменателе — среднее значение.

Таблица 5.
Технологические параметры выплавки*

Технология	Число плавов, ед.	Продолжительность плавки, мин		Масса плавки, т	Расход электроэнергии, кВт·ч/т	Температура выпуска, °С
		всего	под током			
Базовый вариант	334	37–58 46	25–34 27	120–125 122	220–283 235	1665–1680 1678
С материалом № 1	384	38–53 47	25–31 28	120–123 122	230–260 245	1668–1680 1677
С материалом № 2	353	39–55 48	28–34 32	120–123 121,5	230–291 263	1668–1680 1673

*В числителе — интервал значений, в знаменателе — среднее значение.

материала № 2 по сравнению с базовым периодом.

Кроме того, следует отметить снижение основности шлака при использовании материала № 2, которое было вызвано неоправданным снижением расхода извести в процессе плавки при значительном расходе опытного материала, содержащего большое количество кремнезема. При применении материала № 2 также отмечено заметное повышение расхода электроэнергии. Это связано с ростом выхода шлака

Таблица 6.
Химический анализ печного шлака и стойкости футеровки

Вариант	Химический анализ печного шлака, %*							Стойкость футеровки печи за полукампанию**, плавка	Расход материалов на промежуточный ремонт, кг/т стали
	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	Основность		
Базовый вариант	27–45 37,3	11–24 16,9	11–30 22,6	2,4–6,1 4,1	3,1–7,8 5,0	1,9–8,8 3,4	1,6–3,2 2,2	334	0,929
С материалом № 1	38–42 38,9	12–19 15,9	12–20 18,2	3,0–4,9 3,4	6,5–11,5 7,8	2,1–4,3 3,8	2,2–2,7 2,5	384	0,917
С материалом № 2	37–43 38,4	11–19 15,4	15–27 23,6	3,3–5,3 4,9	5,9–10,3 7,5	2,0–4,7 3,4	1,6–2,2 1,8	353	0,922

* В числителе — интервал значений, в знаменателе — среднее значение.
** Количество плавов между горячими ремонтами.

Из табл. 3–5 видно, что исследования проводили в одинаковых технологических условиях, о чем свидетельствуют близкие значения данных по шихтовым материалам и технологическим параметрам выплавки стали в ДСП. Однако следует отметить, что при использовании магнийсодержащего материала № 2 наблюдается заметное увеличение расхода электроэнергии при незначительном росте продолжительности плавки, что, вероятно, объясняется повышением количества шлака и содержания оксидов железа в опытном материале.

Из представленных в табл. 6 данных видно, что применение магнийсодержащих добавок позволило повысить содержание MgO в шлаке в среднем на 2,8 % при использовании материала № 1 и на 2,5 % при использовании материала № 2. Это позволило увеличить стойкость футеровки на 13 % для материала № 1 и на 8,7 % для материала № 2 по сравнению с базовым периодом.

При этом средний удельный расход огнеупорных изделий на выполнение футеровки при промежуточных ремонтах на опытных вариантах снизился на 1,3 % для материала № 1 и на 0,5 % для

и высоким содержанием карбонатного железа в исходном материале, что привело к охлаждению ванны металла ввиду протекания эндотермических реакций.

При использовании опытных материалов по визуальной оценке отмечено, что при вводе магнийсодержащих материалов в печь совместно с порцией кокса, так же, как и при использовании доломита, наблюдается активная реакция вспенивания шлака.

Анализ топографии остаточной толщины отработанных опытных и сравнительных футеровок рабочего слоя стен и шлакового пояса электропечей показал, что максимальная скорость износа футеровок, эксплуатируемых с использованием магнийсодержащих материалов, составила 1,27 мм/плавку (средняя скорость износа 1,17 мм/плавку), на сравнительном варианте 1,25 мм/плавку (средняя скорость износа 1,18 мм/плавку). Наилучшие результаты наблюдались при содержании MgO в шлаке от 8 до 10 % и основности шлака 2,4–2,6 ед.

Таким образом, на основе проведенных исследований с целью повышения стойкости футеровки в условиях ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» был разработан рациональный химический состав печного шлака (табл. 7).

Для поддержания в шлаке MgO на уровне 8–10 % ввод магнийсодержащих материалов необходимо проводить согласно данным, представленным в табл. 8.

Таблица 7.
Рекомендуемый химический состав печного шлака, %

Содержание компонента шлака, %						Основность шлака, ед.
CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	
40–45	< 20	15–20	3–6	8–10	3–5	2,4–2,6

Таблица 8.
Рекомендации по расходу магнийсодержащих материалов для предлагаемой технологии с целью поддержания содержания MgO в шлаке на уровне 8–10 %

Содержание MgO в добавочном материале, %	Общий расход добавочного магнийсодержащего материала, кг/т металлошихты	Отдается в процессе плавки, кг/т металлошихты	
		в завалку	присадками после каждого скачивания шлака*
< 10	12,1–15,4	6,8–8,2	1,1–1,4
10–20	9,3–12,1	5,0–6,4	
20–30	6,8–9,3	3,9–5,0	
30–40	4,6–6,1	2,5–3,2	0,7–1,1
40–50	3,9–5,4	2,1–2,9	
60–70	3,2–4,6	1,8–2,5	
70–80	2,9–3,9	1,4–2,1	0,4–0,7
80–90	2,5–3,2	1,1–1,8	
> 90	1,8–2,5	0,7–1,4	

* Предполагается не менее трех скачиваний шлака.

Поддержание содержания MgO в шлаке на уровне 8–10 % путем дополнительного ввода магнийсодержащих материалов, совместно с приведенными ранее рекомендациями по химическому составу шлака позволит повысить стойкость футеровки на 5–10 %, а также сократить затраты на производство стали в ДСП в условиях ЭСПЦ АО «Уральская Сталь».

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что при вводе магнийсодержащих материалов в печь совместно с порцией кокса, так же, как и при использовании доломита, наблюдается активная реакция вспенивания шлака.

Анализ топографии остаточной толщины отработанных опытных и сравнительных футеровок рабочего слоя стен и шлакового пояса электропечи показал, что максимальная скорость износа футеровок, эксплуатируемых с использованием магнийсодержащих материалов, составила 1,27 мм/плавку (средняя скорость износа 1,17 мм/плавку), на сравнительном варианте 1,25 мм/плавку (средняя скорость износа 1,18 мм/плавку). Наилучшие результаты отмечены при содержании MgO в шлаке от 8 до 10 % и основности шлака 2,4–2,6 ед.

Для оптимизации шлакового режима и получения требуемого состава шлака в условиях ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» необходимо:

– провести корректировку расходов шлакообразующих материалов с учетом их химического состава и шлакового режима плавки;

– поддерживать основность шлака в диапазоне 2,4–2,6 ед.

– производить дополнительный ввод магнийсодержащих материалов для поддержания в шлаке содержания MgO на уровне 8–10 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по проекту № 11.2054.2017/4.6 в рамках государственного задания на 2017–2019 гг. ЧМ

Библиографический список

1. 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.
2. Кудрин В. А., Шишимиров В. А. Технологические процессы производства стали. — Ростов н/Д : Феникс, 2017. — 302 с.
3. Бигеев В. А., Бигеев В. А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали : учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Магнитогорск : МГТУ, 2000. — 544 с.
4. Кожухов А. А. Развитие научных основ вспенивания сталеплавильных шлаков с целью повышения энерготехнологических показателей производства стали в дуговых сталеплавильных печах : дис. ... докт. техн. наук. — Москва, 2015. — 375 с.
5. Некрасов И. В., Шешуков О. Ю., Метелкин А. А., Сивцов А. В., Цымбалист М. М. Обзор исследований по шлаковому режиму электропечей // Сталь. 2016. № 6. С. 28–35.
6. Qi J. L. Study on the Lining Erosion of Deep Reduction Electric Arc Furnace in Smelting Metallized Pellets Process Produced by Vanadium Titanium Magnetite // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 217–219. P. 445–448.
7. Qin J., Qi J. L. Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 602–604. P. 2082–2086.
8. Kim H. S., Min D. J., Park J. H. Foaming behavior of CaO–SiO₂–FeO–MgO_{slag}-X (X = Al₂O₃, MnO, P₂O₅, and CaF₂) slags at high temperatures // ISIJ International. 2001. Vol. 41. No. 4. P. 317–324.
9. Некрасов И. В., Шешуков О. Ю., Метелкин А. А., Сивцов А. В., Цымбалист М. М., Егизарьян Д. К. Обеспечение стабильной вспениваемости электропечных шлаков // Металлург. 2015. № 4. С. 29–32.
10. Khanna R., Rahman M., Leow R., Sahajwalla V. Novel sessile drop software for quantitative estimation of slag foaming in carbon/slag interactions // Metallurgical and Materials Transactions B. 2007. Vol. 38B. P. 719–723.
11. Настюшкина А. В., Костин С. В., Шевченко Е. А., Шевченко А. А. Совершенствование технологии производства стали с целью обеспечения содержания фосфора менее 0,005 % // Теория и технология металлургического производства. 2017. № 4(23). С. 14–17.
12. Ito K., Fruehan R. J. Study on the foaming of CaO–SiO₂–FeO slags: Part I. Foaming parameters and experimental results // Metallurgical Transactions, B. 1989. Vol. 20B. P. 509–514.
13. Гудим Ю. А., Зинуров И. Ю., Киселев А. Д. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы : монография. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. — 547 с.
14. Morales R. D., Lopez F., Camacho J. et al. The slag foaming practice in EAF and its influence on the steelmaking shop productivity // ISIJ International. 1995. Vol. 35. No. 9. P. 1054–1062.
15. Kapilashrami A., Gernerup M., Lahiri A. et al. Foaming of slags under dynamic conditions // Metallurgical Transactions, B. 2006. Vol. 37B. P. 109–117.
16. Walden K. Improving arc furnace refractory life by dolomite injection // I & SM. 1994. Vol. 21(2). P. 27–36.
17. Зуев М. В., Бабенко А. А., Бурмасов С. П. и др. Комплекс технологических и технических решений снижения энерго- и материалоемкости процесса выплавки стального полупродукта в современных ДСП // Металлург. 2014. № 7. С. 45–49.
18. Соболев В. Ф., Чичко А. А., Чичко А. Н., Маточкин В. А. Физико-химическая модель оптимизации шлакового режима плавки для дуговых сталеплавильных печей // Металлургия машиностроения. 2008. № 3. С. 14–17.
19. Бабенко А. А., Смирнов Л. А., Михайлова Л. Ю., Ушаков М. В., Спирин С. А. Теоретические и технологические особенности выплавки железоуглеродистого расплава в кислородных конвертерах и ДСП под магнезиальными шлаками // Физическая химия и технология в металлургии. Сб. тр., посвященный 60-летию ИМЕТ УрО РАН. Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук. — Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 2015. С. 234–250.

20. Ушаков М. В., Бабенко А. А., Спиринов С. А., Степанов А. И., Кузьякин В. Г., Белев А. А. Технология выплавки стали в ДСП-135 ПАО «Северский трубный завод» под магниезиальными шлаками рационального состава // сб. Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР. Тр. науч.-практич. конференции с международным участием и элементами школ молодых ученых. — Екатеринбург : ООО «Медиа-холдинг «Уральский рабочий», 2015. С. 191–195.
21. Ушаков М. В., Бабенко А. А., Кузьякин В. Г. и др. Влияние химического и фазового состава магниезиальных шлаков на эффективность их вспенивания в процессе выплавки в ДСП // сб. Современные проблемы электрометаллургии стали. Матер. XVI Междунар. конф. В 2 частях. — Челябинск : Южно-Уральский гос. ун-т, 2015. С. 50–56.
22. Невидимов В. Н., Гребцов В. А., Семков С. С. Совершенствование режима шлакообразования при выплавке стали в условиях ОАО «Металлургический завод им. А. К. Серова» // Черные металлы. 2014. № 11. С. 19–23.
23. Бабенко А. А., Спиринов С. А., Ровнушкин В. А. и др. Выплавка стали в ДСП под магниезиальными шлаками рационального состава // Новые технологии и материалы в металлургии : сб. научн. трудов. — Екатеринбург : УрО РАН. 2010. С. 223–227.
24. Турсунов Н. К., Санюков Э. А., Семин А. Е. Исследование процесса десульфурации конструкционной стали с использованием твердых шлаковых смесей и РЗМ // Черные металлы. 2016. № 4. С. 32–37.
25. Ткачев А. С. Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости : дис. ... канд. техн. наук : // НИТУ «МИСиС», 2016. — 184 с.
26. Возчиков А. П., Демидов К. Н., Борисова Т. В. и др. Применение высокомагнезиального флюса ФЛЮМАГ в сталеплавильном производстве // Сталь. 2017. № 4. С. 16–20.

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 16–21

INCREASE OF LINING RESISTANCE OF ELECTRIC ARC FURNACES BY IMPROVING THE SLAG PROCEDURE WITH USE OF MAGNESIUM-CONTAINING MATERIALS

E. A. Shevchenko¹, Cand. Eng., Associate Prof., Chair of metallurgical technologies and equipment

A. N. Shapovalov¹, Cand. Eng., Associate Prof., Head of the Chair of metallurgical technologies and equipment

E. V. Bratkovskiy¹, Cand. Eng., Associate Prof., Chair of metallurgical technologies and equipment

¹ Novotroitsk affiliate of the National University of Science and Technology (Novotroitsk, Russia)

E-mail: ShevchenkoE.A@yandex.ru

Abstract: Steel production in electric arc furnaces is one of the most effective and promising methods of metal manufacture with preset chemical composition at present time. Increase of lining resistance by usage of the new high-quality refractories reduces the wear rate of the lining, however, it also requires large investments and does not allow to solve the problem of efficient lining operation in an electric arc furnace without proper selection of the rational parameters for the slag procedure. Therefore, the problem of selection of slag-forming materials is practically significant and very relevant.

The paper contains the research materials carried out in the electric steel-making shop of JSC «Ural Steel». The aim of the study was how to increase the resistance and service life of the lining in the electric arc furnaces via development of scientifically substantiated recommendations for improvement of the slag procedure during electric steel making.

Experimental results of operation of the electric arc furnace No. 2 in the electric steelmaking shop of JSC "Ural Steel" have been analyzed during the pilot-industrial tests of magnesial slag-forming materials having fineness 10–50 mm with low (10–15%) and high (85–90%) MgO content.

In the course of the conducted study, experimental data on the effect of magnesium-containing additives on lining resistance of the electric arc furnace were obtained. Recommendations for optimization of the slag forming procedure by selection of slag-forming materials were developed. Such materials can prolong the service life of lining and reduce the cost of steel production.

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the project № 11.2054.2017/4.6 within the framework of the state task for 2017–2019.

Key words: electric arc furnaces, steel making, furnace lining, lining resistance, slag procedure, slag-forming materials, magnesium-containing additives, skull.

References:

1. Bigeev V. A., Stolyarov A. M., Valiakhmetov A. Kh. Metallurgical technologies in high-performance arc-furnace melting shop: tutorial. Magnitogorsk: Izdatelstvo Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova. 2014. 308 p.
2. Kudrin V. A., Shishimarov V. A. Technological processes for steel production. Rostov-on-Don: Fenix, 2017. 302 p.

3. Bigeev A. M., Bigeev V. A. Steel metallurgy. Theory and technology for steel melting: tutorial for institutes of higher education. 3rd Issue, revised and supplemented. Magnitogorsk: MGТУ, 2000. 544 p.
4. Kozhukhov A. A. Development of scientific fundamentals for steel slag foaming to improve energetic and technological indices of steel production in arc-furnaces: Dissertation ... of Doctor of Engineering Sciences: 05.16.02. Moscow, 2015. 375 p.
5. Nekrasov I. V., Sheshukov O. Yu., Metelkin A. A., Sivtsov A. V., Tsybalist M. M. Review of studies on the arc-furnace slag mode. *Stal*. 2016. No. 6. pp. 28–35.
6. Qi J. L. Study on the Lining Erosion of Deep Reduction Electric Arc Furnace in Smelting Metallized Pellets Process Produced by Vanadium Titanium Magnetite. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 217–219. pp. 445–448.
7. Qin J., Qi J. L. Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 602–604. pp. 2082–2086.
8. Kim H. S., Min D. J., Park J. H. Foaming behavior of CaO–SiO₂–FeO–MgO_{satd}–X (X = Al₂O₃, MnO, P₂O₅, and CaF₂) slags at high temperatures. *ISIJ International*. 2001. Vol. 41. No. 4. pp. 317–324.
9. Nekrasov I. V., Sheshukov O. Yu., Metelkin A. A., Sivtsov A. V., Tsybalist M. M., Egizaryan D. K. Ensuing of stable arc-furnace slag foaming. *Metallurg*. 2015. No. 4. pp. 29–32.
10. Khanna R., Rahman M., Leow R., Sahajwalla V. Novel sessile drop software for quantitative estimation of slag foaming in carbon/slag interactions. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2007. Vol. 38B. pp. 719–723.
11. Nastyushkina A. V., Kostin S. V., Shevchenko E. A., Shevchenko A. A. Improvement of the steel production technology to guarantee phosphorus content less than 0.005%. *Theory and technology of metallurgical production*. 2017. No. 4(23). pp. 14–17.
12. Ito K., Fruehan R. J. Study on the foaming of CaO–SiO₂–FeO slags: Part I. Foaming parameters and experimental results. *Metallurgical Transactions B*. 1989. Vol. 20B. pp. 509–514.
13. Gudim Yu. A., Zinurov I. Yu., Kisilev A. D. Production of steel in arc furnaces. Design, technology, materials: monograph. Novosibirsk: Izdatelstvo NGTU. 2010. 547 p.
14. Morales R. D., Lopez F., Camacho J. et al. The slag foaming practice in EAF and its influence on the steelmaking shop productivity. *ISIJ International*. 1995. Vol. 35. No. 9. pp. 1054–1062.
15. Kapilashrami A., Gornepur M., Lahiri A. et al. Foaming of slags under dynamic conditions. *Metallurgical Transactions B*. 2006. Vol. 37B. P. 109–117.
16. Walden K. Improving arc furnace refractory life by dolomite injection. *I & SM*. 1994. Vol. 21(2). pp. 27–36.
17. Zuev M. V., Babenko A. A., Burmasov S. P. et al. A set of technological and technical solutions to reduce power-intensity and resources of the process steel semi-product in the state-of-the-art arc furnaces. *Metallurg*. 2014. No. 7. pp. 45–49.
18. Sobolev V. F., Chichko A. A., Chichko A. N., Matochkin V. A. A physical and chemical model for optimization of slag melting mode in arc steel furnaces. *Metallurgiya mashinostroeniya*. 2008. No. 3. pp. 14–17.

19. Babenko A. A., Smirnov L. A., Mikhaylov L. Yu., Ushakov M. V., Spirin S. A. Theoretical and technological features of iron-carbon alloy melting under magnesia slags in oxygen converters and arc steel furnaces. *Physical chemistry and technology in metallurgy. Collection of proceedings dedicated to the 60 anniversary of the IMET UrO RAN.* Institute of metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Chelyabinsk: Yuzhno-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 2015. pp. 234–250.
20. Ushakov M. V., Babenko A. A., Spirin S. A., Stepanov A. I., Kuzyakin V. G., Belev A. A. The technology for steel melting in 135 arc furnace of PJSC «Seversky Pipe Plant» under magnesia slags with rational composition. *Proceedings: Prospects for metallurgy and machine-building development with the use of completed basic research and R&D. Proceedings of the scientific and practical conference with international participation and elements of young scientists schools.* Yekaterinburg: "Media-kholding "Uralsky rabochiy". 2015. pp. 191–195.
21. Ushakov M. V., Babenko A. A., Kuzyakin V. G. et al. Effect of magnesia slags chemical and phase composition on the efficiency of their foaming during melting in the arc furnace. *Collection: Current issues of steel electrometallurgy. Proceedings of XVI International conference.* In 2 parts. Chelyabinsk: Yuzhno-Uralsky gosudarstvenny universitet. 2015. pp. 50–56.
22. Nevidimov V. N., Grebtsov V. A., Semkov S. S. Improvement of slag forming conditions in steel making at the Metallurgical plant named after A. K. Serov. *Chernye metally.* 2014. No. 11. pp. 19–23.
23. Babenko A. A., Spirin S. A., Rovnushkin V. A. Et al. Steel melting in an arc furnace under magnesia slags with rational composition. *New technology and materials in metallurgy. Proceedings.* Yekaterinburg: UrO RAN. 2010. pp. 223–227.
24. Tursunov N. K., Sanokulov E. A., Semin A. E. Study of desulfurization process of structural steel using solid slag mixtures and rare earth metals. *Chernye metally.* 2016. No. 4. pp. 32–37.
25. Tkachev A. S. Study and estimation of efficiency of the tubular electrodes usage with purpose to decrease energetic costs during steel melting in arc furnaces of low and medium capacity : Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. Moscow, 2016. 184 p.
26. Vozchikov A. P., Demidov K. N., Borisova T. V. et al. The use of the FLUYMAG high-magnesia flux in steel-making. *Stal.* 2017. No. 4. pp. 16–20.

УДК 669.187.28

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Д. АЛЬГЕРМИССЕН, А. ЭРЕНБЕРГ*

В отличие от гранулированного доменного шлака или клинкера портландцемента, электросталеплавильный шлак не обладает латентными гидравлическими свойствами, что исключает его непосредственное использование в качестве компонента связующего. Конвертация расплавленного электросталеплавильного шлака, в отличие от классического производства связующих, потенциально позволяет экономить энергоресурсы и предотвращать выбросы CO₂ благодаря отсутствию стадии нейтрализации (необходима, например, для обработки известняка), одновременно позволяя сохранить природные ресурсы.

Ключевые слова: электросталеплавильный шлак, гидравлическое связующее, клинкер, восстановление, гранулированный доменный шлак, кондиционирование.

Наряду с производством стали по технологическому маршруту «доменная печь — кислородный конвертер» электросталеплавильное производство приобретает все большее значение во всем мире. В качестве сырьевых материалов в электродуговых печах (ЭДП) используют стальной лом или губчатое железо. В Германии за последние десятилетия число производственных площадок с действующими доменными печами (14 ед.) уменьшилось до пяти, а с применением ЭДП благодаря наличию лома и другим преимуществам увеличилось до 18. В Германии доля электросталеплавильного произ-

водства в общем объеме выпуска нерафинированной стали составляет 30 % (2014 г.), что соответствует среднему мировому уровню (25 %) при наличии больших региональных различий (Китай — 6 %; Индия — 57 %; США — 63 %) [1]. При данном технологическом маршруте образуется около 130 кг электросталеплавильного шлака на 1 т нерафинированной стали, который является необходимым металлургическим инструментом [2]. На немецких электросталеплавильных предприятиях в 2016 г. получено более 1,5 млн. т электросталеплавильного шлака [3], а всего в мире в 2015 г. — около 52 млн. т.

В результате технологического процесса электросталеплавильный шлак содержит оксиды железа (20–30 % (масс.) общего количества железа), большое количество CaO (20–36 % (масс.)), SiO₂ (10–18 % (масс.)) и MgO (3–7 % (масс.)) [4]. В настоящее время закристаллизовавшийся в шлаковых ямах электросталеплавильный шлак в качестве минерального вещества используется в основном при

* *Институт исследования строительных материалов (FEhS), Дуйсбург, Германия:*

Д. Альгермиссен, научный сотрудник, руководитель направления «вторичные сырьевые ресурсы/шлаковая металлургия»; докт.-инж. А. Эренберг, руководитель направления «строительные материалы»;

эл. почта: a.ehrenberg@feh.s.de

© Альгермиссен Д., Эренберг А., 2018

производстве дорог и строительстве подземных сооружений [3]. В отличие от гранулированного доменного шлака или клинкера портландцемента, электросталеплавильный шлак не обладает латентными гидравлическими свойствами, что исключает его непосредственное использование в качестве компонента связующего. Однако в ходе постоянно усиливающихся дискуссий, с одной стороны, в экологическом отношении для повышения эффективности использования ресурсов и сокращения выбросов CO₂ при производстве связующих, а с другой — в экономическом отношении для повышения маржинальной прибыли побочного продукта дорогостоящего процесса производства стали необходимо открыть альтернативные высококачественные области применения электросталеплавильного шлака. В связи с этим Институт исследования строительных материалов (FEhS) совместно с инжиниринговой компанией HEER&P GmbH и электросталеплавильными предприятиями Benteler GmbH и Georgsmarienhütte GmbH при финансовой поддержке Немецкого федерального фонда окружающей среды (DBU) исследовал процесс для металлургического и материаловедческого кондиционирования электросталеплавильного шлака с получением высококачественного продукта, обладающего латентными (гидравлическими) свойствами [5]. При этом целью проекта являлась не организация внутри черной металлургии собственного производства связующих, а предотвращение выбросов CO₂ и разработка новых областей применения электросталеплавильного шлака.

Еще одним преимуществом конвертации электросталеплавильного шлака является возможность дополнительного получения клинкероподобного материала для расположенных поблизости цементных заводов, или материала, похожего на гранулированный доменный шлак, в тех местах, где раньше по географическим причинам его поставку осуществить экономически эффективным способом было невозможно. Кроме того, дополнительно можно в металлической форме повторно получать богатый железом продукт для дальнейшего его использования в металлургических процессах [6].

Прикладные разработки

Идея конвертировать металлургический шлак таким образом, чтобы сформировать гидравлические минеральные

фазы и придать ему похожие на клинкер портландцемента свойства, не нова и на примере кислородно-конвертерного шлака ее исследовали Энде (Ende) [7] уже в 1960-е и Пирет (Piret) в 1980-е годы [8]. В последнее время к этим разработанным в Бельгии подходам для производства клинкера из конвертерного шлака вернулись вновь [9].

О сопоставимых работах в области электросталеплавильного шлака информации мало. В 1924 г. выдан немецкий патент на способ трансформации шлаков из электрических печей путем прямого кондиционирования в печи в клинкер цемента [10]. Однако этот способ, основанный на использовании шлака совершенно другого химического состава, не получил признания, поскольку в соответствии с работой [11] «согласовать металлургические требования в отношении свойств шлаков с этим предложением невозможно». Таким образом, вероятно имеется не совсем благоприятное соотношение затрат по производству обработанного электросталеплавильного шлака для последующего использования в цементной промышленности.

Химический состав

Химический состав электросталеплавильного шлака 1, который использовали в качестве исходного материала в проведенных исследованиях, приведен в **табл. 1**. Кроме того, приведены химические составы других важных для получения связующих материалов, например клинкера портландцемента и доменного шлака (гранулированный доменный шлак). Недостатком в отношении химического состава исходного электросталеплавильного шлака по сравнению с кислородно-конвертерным для производства похожего на клинкер материала является низкое со-

Таблица 1.
Химический состав используемых в экспериментах электросталеплавильного шлака EOS1 промышленного клинкера марки L и других связующих агентов, % (масс.)

	EOS1 (оригинал)	Разброс значений в сырьевой смеси	Разброс значений в клинкере	Клинкер L	Белит-клинкер	Разброс значений в гранулированном доменном шлаке
CaO	24,3	40–45	62–69	66,2	56	30–47
SiO ₂	12,8	12–16	20–23	22,1	20	33–42
Al ₂ O ₃	7	2–5	4–6	5,2	6	9–16
MgO	8,2	0,5–2,5	0,7–4,7	1	3	4–13
FeO	31	–	–	–	–	0,1–1,9
Fe ₂ O ₃	4	0,4–3	1,5–3,7	2,3	4	–
Fe (мет)	2,2	–	–	–	–	–
Cr ₂ O ₃	2,4	<0,1	<0,1	<0,05	7,3	<0,1
CO ₂	–	31–38	0,1	0,07	0,6	0,01–0,4



Рис. 1. Восстановленный EOS1 в С-тигле (KS1), диаметр 13 см

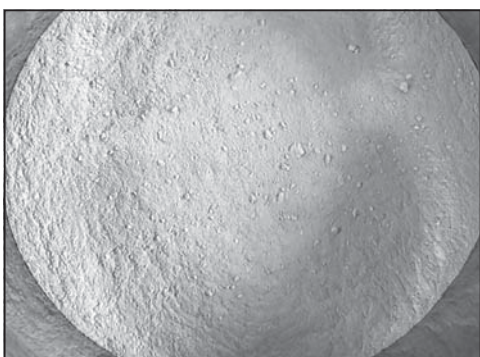


Рис. 2. Измельченный восстановленный электросталеплавильный шлак EOS1

держание CaO и SiO₂ и повышенное содержание MgO и оксидов железа.

Замена кислородно-конвертерного шлака электросталеплавильным основана не на его благоприятном химическом составе, а, с одной стороны, на допущении, что при пониженном объеме выпуска с логистической и технической точек зрения проще внедрить установку обработки шлака в электросталеплавильном цехе, а с другой — на возможном преимуществе площадки с электросталеплавильным производством по поставке гидравлических связующих в области, где отсутствует гранулированный доменный шлак. Предпосылкой могло бы послужить уже сформировавшееся хозяйство шлаковых полигонов.

Клинкер на основе электросталеплавильного шлака: восстановление и кондиционирование

Технологические стадии — восстановление и кондиционирование электросталеплавильного шлака — изначально планировали проводить в одном агрегате, что позволило бы максимально использовать термическую энергию жидкого электросталеплавильного шлака и осуществлять процесс сравнительно простым способом на

Таблица 2.
Условия охлаждения и химический состав восстановленных (+ после кондиционирования) электросталеплавильных шлаков, % (масс.)

	EOS KS1 (восстановление)	EOS KS5 (восстановление + кондиционирование)	EOS KS6 (восстановление + кондиционирование)
Корректировка	–	20 % шлака внепечной обработки	19 % обожженной известки
Охлаждение	Медленное	Быстрое	Быстрое
CaO	43,7	45	50,5
CaO (своб.)	–	–	–
SiO ₂	22,7	20,1	16,8
Al ₂ O ₃	12,6	15,7	10,2
MgO	14	14,1	11,3
FeO	0,28	0,22	1,16
Fe ₂ O ₃	0,18	Ниже предела обнаружения	0,64
Fe (мет.)	0,67	0,67	4,27
Cr ₂ O ₃	0,19	0,12	0,61

одном стенде обработки. Металлургические эксперименты с использованием шлака проводили в плавильной лаборатории Института исследования строительных материалов (FEhS) при температуре 1650 °С, которая соответствует реальным производственным условиям. В большинстве экспериментов в качестве восстановителя использовали углерод из графитовых тиглей. Сильному образованию вспененного шлака в лабораторных условиях противодействовали посредством периодического ввода небольших количеств материала, что давало возможность полностью ему прореагировать.

Первые эксперименты проводили с целью подтверждения эффекта восстановления. Восстановленный расплав медленно охлаждался в С-тигле. Как видно по светлоте цвета шлака и корольку металла (рис. 1) и химическому анализу (табл. 2), восстановление имело обширный характер. При этом вязкость восстановленного электросталеплавильного шлака значительно повысилась, что привело к ухудшению сепарации стали, что можно наблюдать по включениям гранул. Кроме того, медленное охлаждение приводило к известному из практики обработки внепечных шлаков превращению β-модификации (ларнит) в хрупкую γ-модификацию (монтичеллит) двухкальциевого силиката (рис. 2).

Данное превращение в определенной степени можно предотвратить быстрым охлаждением, вследствие чего удастся стабилизировать клинкерные фазы [12]. В электросталеплавильном шлаке после восстановления и кондиционирования в расплаве это реализуется в результате выливания расплава на охлаждаемую водой металлическую рампу.



Рис. 3. Клинкер на основе электросталеплавильного шлака KS5

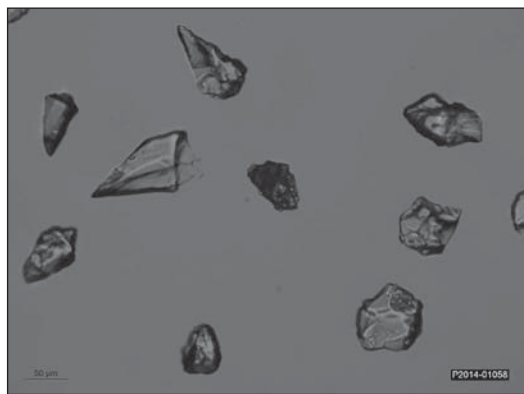


Рис. 4. Гранулированный доменный шлак на основе электросталеплавильного шлака KS11 в просвечивающем микроскопе

Однако для получения необходимого для клинкера трикальциевого силиката требуется увеличить содержание кальция. Это было реализовано в ходе эксперимента KS5 с использованием собственного внепечного шлака (разливка показана на рис. 3), а также в ходе эксперимента KS6 с использованием обожженной извести. Обожженная известь привела к значительному повышению основности и, в отличие от кондиционирования внепечного шлака, увеличению вязкости.

При этом выявлялась хорошо известная из ранних работ по конвертации конвертерного шлака [8] серьезная технологическая проблема, которую часто недооценивают. Такие решения, как повышение температуры до 1800 °С, по энергетическим причинам и в силу высокого износа огнеупоров для этого проекта не рассматривали как практически реализуемые.

В связи с этим было принято решение осуществлять процесс в две отдельно разделенные стадии: восстановление и окислительное образование клинкерной фазы. На практике было бы целесообразно проводить этот процесс за один нагрев непосредственно после стадии восстановления (например, во вращающейся трубчатой печи). Для лабораторных испытаний электросталеплавильный шлак, как было описано выше, сначала восстанавливается и частично уже подвергается предварительному кондиционированию. Затем проводится его размол и смешивание с другими средствами кондиционирования.

На заключительном этапе полученный материал подвергали традиционной обработке обжига клинкера, как во вращающейся трубчатой печи, с «охлаждением клинкера» в лабораторных условиях. Таким образом, из электросталеплавильного шлака получают, например, клинкер KS9-3 и KS20.

Для контроля, приводит ли выбранный лабораторный процесс к образованию минерало-

гического состава соответствующего производимому в промышленных условиях клинкеру портландцемента, дополнительно были получены два эталонных клинкера из природных сырьевых материалов, один из которых (KS R2-1) содержит повышенное количество MgO (7,2 % (масс.)). Снимки дифракции рентгеновского излучения свидетельствуют об образовании обычных клинкерных фаз C_3S , $\beta-C_2S$, C_3A и $C_4(A, F)$.

«Гранулированный доменный шлак» из электросталеплавильного шлака

Представленные в табл. 1 и 2 химические составы свидетельствуют, что исходный EOS1 и восстановленный EOS KS1 электросталеплавильные шлаки имеют основность $(CaO + MgO)/SiO_2$, равную 2,5. В Германии для доменных шлаков или гранулированного доменного шлака это значение варьируется в диапазоне 1,1–1,5. Требования стандарта по цементу DIN EN 197-1 устанавливают значение 1. Кроме того, стала очевидной необходимость в качестве альтернативы по кондиционированию шлака на клинкероподобный материал исследовать вопрос возможности производства материала, подобного гранулированному доменному шлаку, с помощью восстановления и кондиционирования SiO_2 электросталеплавильного шлака с последующей мокрой грануляцией. Установили, что это достаточно легко осуществить в расплаве (электросталеплавильные шлаки KS10–KS13), поскольку снижение основности приводит к уменьшению вязкости, в отличие от кондиционирования на клинкер. Химические составы «гранулированного доменного шлака», полученного на основе электросталеплавильного шлака EOS KS11–KS13, приведены в табл. 3.

Значения основности устанавливали от очень низких (1,15) до очень высоких (1,86). Выявленное микроскопными исследованиями содержание стеклоподобной фазы составило 98–99 % (об.), что соответствует высоким значениям полученного промышленным способом гранулированного доменного шлака (рис. 4).

В качестве примера на рис. 5 показан процесс грануляции гранулированного доменного шлака, полученного на основе электросталеплавильного шлака в плавильной лаборатории Института исследования строительных материалов. Визуально

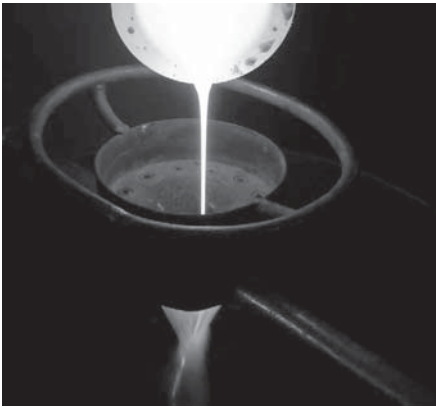


Рис. 5. Лабораторная грануляция гранулированного доменного шлака

отличить гранулированный доменный шлак, полученный на основе электросталеплавильного шлака (рис. 6), и произведенный промышленным способом гранулированный доменный шлак невозможно (рис. 7). Проведенные ранее Институтом FEhS исследования подтверждают, что при постоянном химическом составе и одинаковом содержании стеклоподобной фазы, полученные в лабораторных условиях гранулированные доменные шлаки обладают одинаковыми по сравнению с промышленными для производства цемента свойствами [13].

Таблица 3.
Условия охлаждения и химический состав восстановленных (+ после кондиционирования SiO₂) электросталеплавильных шлаков, % (масс.)

	EOS KS11 (восстановление + кондиционирование SiO ₂)	EOS KS12 (восстановление + кондиционирование SiO ₂)	EOS KS13 (восстановление + кондиционирование SiO ₂)
Корректировка	7 % песка	15 % песка	5 % песка
Охлаждение	Водное гранулирование	Водное гранулирование	Водное гранулирование
CaO	38,6	33,6	38,4
SiO ₂	31,1	39	27,8
Al ₂ O ₃	11,3	9,9	11,6
MgO	13,2	11,2	13,4
FeO	0,58	1,02	1,58
Fe ₂ O ₃	Ниже предела обнаружения	Ниже предела обнаружения	Ниже предела обнаружения
Fe (мет.)	То же	То же	То же
Cr ₂ O ₃	0,17	0,15	0,25

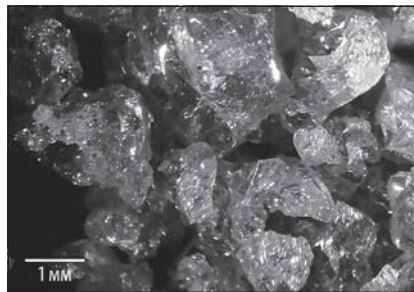


Рис. 6. Гранулированный доменный шлак на основе электросталеплавильного шлака KS12

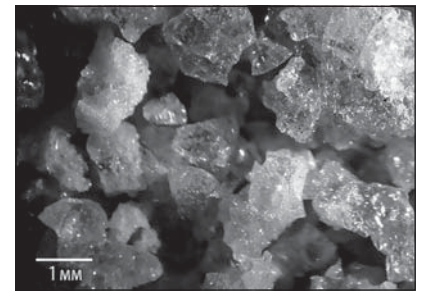


Рис. 7. Промышленный гранулированный доменный шлак HSD 394

Исследования технологических свойств цемента

Исследование клинкера, полученного на основе электросталеплавильного шлака, проводили в смесях с произведенным промышленным способом клинкером марки L (50 % (масс.)) (см. табл. 1) и размолотым ангидритом с установлением общего содержания сульфата 3,5 % (масс.) в растворах в соответствии со стандартом DIN EN 196-1 (вода/связующее = 0,5). Стеклоподобные электросталеплавильные шлаки, как это принято для «массив данных — гранулированный доменный шлак» Института FEhS, исследовали в комбинации с портландцементом марки СЕМ I 42,5R (50 % (масс.)).

Значения прочности различных марок цемента, полученных в комбинации 50 % клинкера L соответственно с инертным материалом, эталонным клинкером и клинкером на основе электросталеплавильного шлака, представлены на рис. 8.

Как показывают значения прочности для смесей с двумя эталонными клинкерами, для выбран-

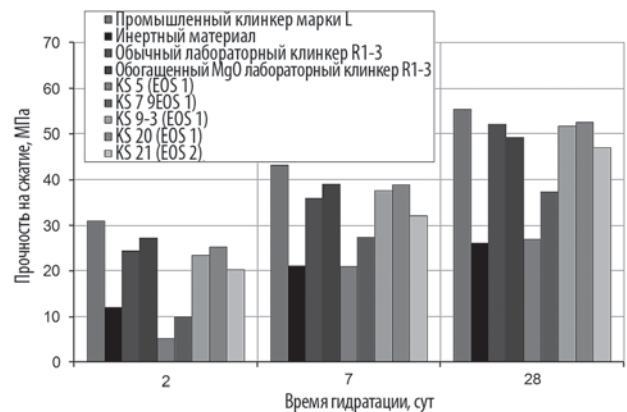


Рис. 8. Изменение прочности цемента соответственно с 50 % клинкера марки L и инертного материала, эталонного клинкера или клинкера на основе электросталеплавильного шлака

ного лабораторного процесса спекания можно получить клинкер, прочность которого сопоставима с произведенным промышленным способом материалом.

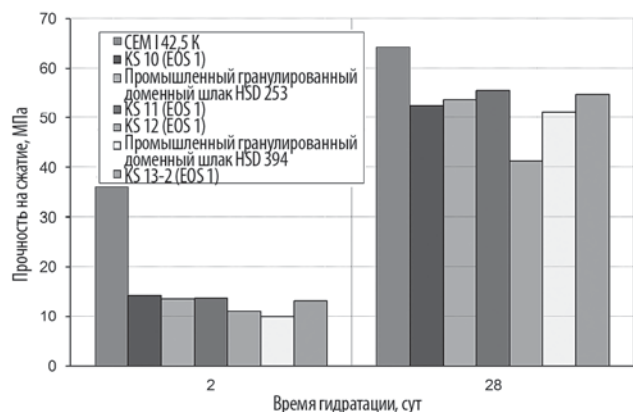


Рис. 9. Изменение прочности цемента соответственно с 50 % CEM I 42,5 R и гранулированного доменного шлака на основе электросталеплавильного

Электросталеплавильный клинкер марок KS9-3 и KS20 уже после двух дней продемонстрировал значительное повышение прочности, аналогичное спеченному при таких же лабораторных условиях эталонному клинкеру с повышенным содержанием MgO (KS R2-1). Клинкер на основе электросталеплавильного шлака KS-21 получен из второго, используемого в проекте шлака. Для него отмечено несколько меньшее приращение прочности, что объясняется очень высоким содержанием стекловидной фазы (54 % (масс.)).

Для сравнения с целью исследования электросталеплавильного гранулированного доменного шлака использовали инертный материал (муку кварцевого песка), а также две марки полученного промышленным способом доменного гранулированного шлака, имеющие одинаковый с электросталеплавильным гранулированным доменным шлаком химический состав.

Как видно из рис. 9, приращение прочности электросталеплавильных гранулированных доменных шлаков, несмотря на худшую тонкость помола, соответствует значениям повышения прочности для традиционного гранулированного доменного шлака при одинаковом химическом составе и содержании стекловидной фазы (HSD253, HSD394).

При сравнении электросталеплавильных гранулированных доменных шлаков с промышленным гранулированным доменным шлаком видно, что KS-10 или KS-12 имеют сопоставимые значения прочности. То, что значения прочности KS-12 и HSD394 после 28 дней не соответствуют друг другу, подтверждает тот факт, что не только химический состав оказывает существенное влияние на реакционную способность гранулированного доменного шлака [6]. То, что электросталеплавильный гранулированный доменный шлак KS-11 (и особенно, KS-13-2), несмотря на повышенную

основность, не обеспечивают более высокую прочность, можно объяснить повышенным содержанием MnO. Данному фактору ранее приписывали негативное влияние на реакционную способность гранулированного доменного шлака. Поскольку и в настоящее время обычное содержание MnO чаще всего составляет всего 0,6 % (масс.), то до сих пор окончательно не установлено, действительно ли содержание MnO оказывает негативное влияние (например, стабилизация структуры стекланной фазы гранулированного шлака), или первопричиной пониженной реакционной способности являются более низкие температуры доменной печи, часто связанные с повышенным содержанием MnO.

То, что после 28 дней портландцемент во всех комбинациях обеспечивал повышение прочности, обусловлено тем, что при лабораторных испытаниях, в отличие от производственной практики для цемента на основе гранулированного доменного шлака, не удалось реализовать никаких мер оптимизации, например в отношении гранулометрического состава.

Качество полученного восстановленного металла

После восстановления электросталеплавильного шлака 1 в среднем 30 % материала было представлено в металлической форме. Поэтому в отношении экономической оценки процесса качеству металла придается большое значение. Химический анализ свидетельствует, что, например, содержание фосфора, марганца или хрома значительно превышает требуемый уровень качества нерафинированной стали. Поскольку шлак невозможно утилизировать непосредственно на электросталеплавильном производстве, экономическую ценность восстановленного металла можно рассматривать как очень незначительную.

Выводы и перспективы

С технической точки зрения результаты лабораторных испытаний как в отношении процесса восстановления, так и в отношении процессов образования фаз клинкера или гранулированного шлака оценивают положительно. Технологические свойства полученных материалов для использования в цементной промышленности практически полностью соответствуют характеристикам произведенного промышленным способом клинкера или гранулированного доменного шлака сопоставимого состава.

В настоящее время следует учитывать, что для производства клинкера процессы восстановления и кондиционирования вследствие значительного повышения вязкости восстановленного электро-

сталеплавильного шлака осуществить в одной плавке невозможно или, например, из-за повышенной температуры они привели бы к значительным затратам. В связи с этим в основе технической реализации лежит подход переноса восстановленного и еще горячего электросталеплавильного шлака в другой агрегат, его обработки с помощью средств кондиционирования и спекание в напоминающий клинкер материал.

С технологической точки зрения также необходимо учитывать вспенивание шлака во время процесса восстановления и адаптацию времени на восстановление/кондиционирование к продолжительности плавки от выпуска до выпуска.

Как в технологическом, так и экономическом отношении следует обратить внимание на то, что для производства клинкера на основе электросталеплавильного шлака требуется большое количество средств кондиционирования (приблизительно 1/3 на восстановленный электросталеплавильный шлак). При этом производство гранулированного доменного шлака на основе электросталеплавиль-

ного требует значительно меньших затрат на кондиционирование.

Углерод хорошо себя зарекомендовал в качестве восстановителя, однако, особенно в связи с потребностью в электроэнергии (восстановление) и термической энергии (образование фазы клинкера), вызывает вопросы в отношении баланса выбросов CO₂ и экологических преимуществ по сравнению с классическим процессом производства клинкера.

Для точной оценки капитальных и эксплуатационных затрат, а также удельных выбросов CO₂, необходимо провести испытания на уровне пилотного производства. В среднесрочной перспективе реализация, особенно процесса производства клинкера на основе электросталеплавильного шлака, в рамках пилотного агрегата на стапелеплавильном производстве не ожидается по экономическим причинам. ЧМ

Библиографический список

(См. англ. блок).

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 21–27

POSSIBILITIES OF EAF SLAG USAGE IN CEMENT PRODUCTION

D. Algermissen¹, Mag. Sci., Head of dept. of secondary and slag metallurgy

A. Ehrenberg¹, Dr. Eng., Head of dept. of building materials

¹ Research Institute of Building Materials — FEHS (Duisburg, Germany)

E-mail: a.ehrenberg@fehs.de

Abstract: The results of laboratorial testings on reduction process and on formation of clinker of granulating slag phases are positively evaluated from the technical point of view. Technological properties of obtained materials for further usage in the cement industry practically completely meet the requirements of industrially manufactured clinker or granulated blast furnace slag with comparative composition. It should be taken into account at present time that reduction and conditioning processes for clinker production can't be conducted during one melting owing to substantial increase of toughness of reduced EAF slag. Thereby this slag should be transferred still in hot state in another unit where it will be processed via conditioning and sintered in clinker-like material.

Special attention should be paid to slag foaming during reduction and time adaptation for these processes to melting tap-to-tap duration. It should be noted also that large amount of conditioning remedies (approximately 1/3 for reduced EAF slag) is required for clinker production, while manufacture of granulated blast furnace slag needs rather less expenses for conditioning.

It is displayed that carbon is a good reducing agent, but the balance of carbon dioxide emissions and ecological advantages should be also evaluated in comparison with the traditional technology of clinker production. It is recommended to conduct pilot testings for evaluation of capital and operating expenses as well as specific carbon dioxide emissions.

Key words: electric steelmaking slag, hydraulic binder, clinker, reduction, conditioning, granulated blast furnace slag, toughness, carbon dioxide emissions.

References:

1. World Steel Association, Brüssel, Belgien.
2. Rekersdrees, T.; Schliephake, H.; Schulbert, K.: Aufbau und Prozessführung des Lichtbogenofens unter besonderer Berücksichtigung des Schlackenmanagements, [in:] Schlacken aus der Metallurgie, Bd. 3, TK Verlag, Nietwerder-Neuruppin, 2014, S. 209/29.
3. Merkel, T.: *Report des FEHS-Instituts* 24 (2017) Nr. 1, S. 15.
4. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttenschlacken im Straßenbau, Ausgabe 2013.
5. Mundersbach, W.; Ehrenberg, A.; Algermissen, D.: Umweltentlastung durch Schonung von Primärressourcen und Vermeidung von Kohlendioxidemissionen bei der Rohstoffaufbereitung sowie Nutzung des Energieinhaltes von flüssiger Elektroofenschlacke bei gleichzeitiger Vermeidung der Deponierung von Reststoffen durch Umwandlung der schmelzflüssigen Elektroofenschlacke in ein Material mit Klinkereigenschaften, DBU-Abschlussbericht 29689-21/2, 2016.
6. Ehrenberg, A. et al.: Die Verwendung von Elektroofenschlacke für hochwertige Bindemittel, *19. Int. Baustofftagungibusil*, 16.–18. Sept. 2015, Weimar.
7. v. Ende, H.; Grebe, K.; Jäger, W.: *stahl u. eisen* 87 (1967) Nr. 5, S. 246/55.
8. Piret, J.; Dralants, A.: *stahl u. eisen* 104 (1984) Nr. 16, S. 42/46.
9. Ludwig, H.-M.; Wulfert, H.: Aufbereitete Stahlwerksschlacke als reaktiver Zementhauptbestandteil, *18. Int. Baustofftagungibusil*, 12.–15. Sept. 2012, Weimar.
10. Espinasse, E.: Verfahren zur gleichzeitigen Herstellung von Stahl und Zement, Reichspatentamt Nr. 399724, 21. Aug. 1924.
11. Mannesmann AG: Verfahren zur Herstellung eines gegen Sulfatlösung beständigen Zementes aus Stahlwerksschlacke. Deutsches Patentamt, Auslegeschrift 1646685, 25. Nov. 1965.
12. Drissen, P.; Mundersbach, D.; Schulbert, K.; Zehn, T.: *Report des FEHS-Instituts* 19 (2012) Nr. 1, S. 10/14.
13. Ehrenberg, A.: Granulated blast furnace slag — From laboratory into practice, *14th Int. Congress on the Chemistry of Cements*, 13.–16. Okt. 2015, Peking, China.

УДК 621.82

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ

А. МАЙРХОФЕР, Ф. ХАРТЛЬ, А. РОРХОФЕР, К. ШТОЛЬ*

Для быстро вращающихся механизмов (подшипников, насосов, двигателей, приводных механизмов) применяют многочисленные технологии контроля состояния, преимущественно вибрационные анализы, для обеспечения профилактического ухода за оборудованием. Для медленно вращающегося оборудования ($< 1 \text{ мин}^{-1}$) ситуация другая. В статье описан новый подход к наблюдению за подобным оборудованием. Наблюдение за вибрацией (качанием, колебанием) обычно невозможно, так как в измеряемых и анализируемых вибрациях недостаточно энергии. В отличие от этого, метод ударного импульса впервые дает точную информацию о состоянии оборудования. Применение такой технологии представлено в деталях на примере поворотного стэнда для сталеразливочных ковшей и LD-конвертера для очень медленно вращающегося механизма.

Ключевые слова: ремонт оборудования, вибрационный анализ, подшипник, вращение, метод ударного импульса, скорость, конвертер, шум.

Расходы на содержание и ремонт оборудования составляют значительную часть всех производственных затрат. При этом часто параллельно применяют четыре различные стратегии, чтобы наилучшим образом сократить затраты на уход за оборудованием и одновременно поддерживать на низком уровне чистые расходы на ремонт и следующие из этого затраты за простой оборудования. Какая стратегия лучше всего подходит для мероприятий по уходу и ремонту оборудования, необходимо решать для каждого механизма индивидуально (рис. 1).

Данная статья посвящена профилактическому уходу за оборудованием (Predictive Maintenance) и уходу за оборудованием, ориентированным на его состояние (Condition Based Maintenance). Для определения состояния оборудования и оценки оставшегося срока службы применяют различные технологии. Такие сведения обеспечивают сокращение незапланированного простоя оборудования и одновременно оптимальное использование запланированной приостановки работы, связанной с обслуживанием оборудования.

Ремонтники оборудования должны знать метод ремонта и профилактики для конкретного оборудования. В соответствующей литературе подробно описаны различные технологии, среди которых можно отметить:

- вибрационный анализ;

* Компания *Primetals Technologies Austria GmbH*, Линц, Австрия;

А. Майрхофер, Ф. Хартль, А. Рорхофер, К. Штоль;

эл. почта: Anna.Mayrhofer@primetals.com

© МАЙРХОФЕР А., ХАРТЛЬ Ф., РОРХОФЕР А., ШТОЛЬ К., 2018

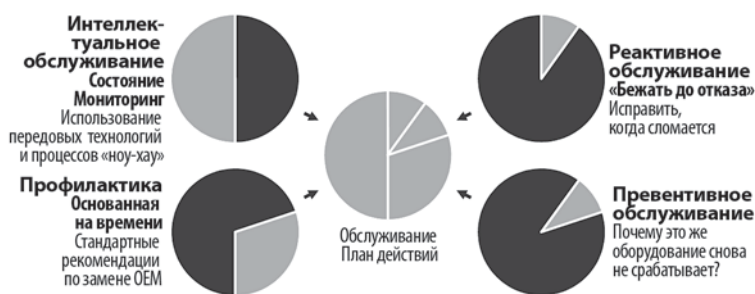


Рис. 1. Стратегии ухода за оборудованием

- анализ смазки;
- измерение тепловой диаграммы;
- ультразвуковой анализ.

В зависимости от ситуации персонал ремонтников должен решать, применять ли непрерывное (24/7) наблюдение за состоянием оборудования или более целесообразна периодическая дополнительная проверка. Как правило, самым экономичным является комбинированный подход.

В данной статье описаны метод ударного импульса для анализа очень медленно вращающихся подшипников и анализ акустических шумов, который призван имитировать и улучшать слух и способности интерпретации опытных сотрудников.

Контроль состояния медленно вращающихся подшипников

В настоящее время при профилактическом уходе за оборудованием применяется много различных способов измерения и анализа. Вибрационный анализ называют часто первой и самой важной технологией, и тысячи успешных технологий доказывают его значимость. Скорость вращения около 100 мин^{-1} рассматривается при этом в общих чертах

как нижний предел для успешной работы оборудования.

Однако на металлургических заводах много примеров подшипников, которые вращаются гораздо медленнее. Поворотный стенд для сталеразливочных ковшей и конвертер имеют скорость движения, как правило, 1 мин^{-1} . В дальнейшем описано, как может успешно осуществляться наблюдение (контроль) за состоянием таких подшипников.

Пример поворотного стенда для сталеразливочных ковшей

Вращающийся подшипник поворотного стенда для сталеразливочных ковшей диаметром 4–5 м должен нести груз в несколько сотен тонн. Один раз за плавку подшипник производит обычно половину оборота со скоростью $\sim 1 \text{ мин}^{-1}$.

Для таких подшипников характерен очень долгий срок службы — 20 лет или более (при этом иногда окончание срока службы наступает гораздо раньше), однако долговечность самого поворотного стенда обычно значительно больше, чем срок службы подшипника. Это означает, что по меньшей мере один раз следует сменить подшипник. Такая смена, однако, очень затратна по времени и ресурсам. Даже при хорошей подготовке на это следует запланировать от семи до десяти дней.

Важной задачей является не допустить катастрофического и внезапного выхода из строя подшипника. Часто избираемый подход, смена подшипника на основе его возраста (т. е. числа нагрузочных циклов) имеет тот недостаток, что, с одной стороны, подшипник меняют до завершения его срока службы, но с другой — остается риск запланировать смену подшипника слишком поздно.

Для того, чтобы улучшить ситуацию, многие металлурги проводят регулярные анализы технического масла. Число и распределение величин найденных частиц металла дают очень хорошее показание о состоянии подшипника. Часто проводят регулярные измерения зазоров в подшипнике, которые также позволяют сделать вывод об износе подшипника.

Оба метода дают ценную информацию об общем состоянии подшипника и являются важными составляющими успешной программы наблюдения за состоянием оборудования (Condition-Monitoring-Programm). Однако точечные повреждения, например первые сплюсненности в зоне нагрузки подшипника, данными методами не идентифицируются. Возможность получить детальную информацию о состоянии подшипника дает метод ударного импульса. При этом измеряются небольшие ударные волны, которые возникают при каждом контакте металла (обкатный элемент) с металлом

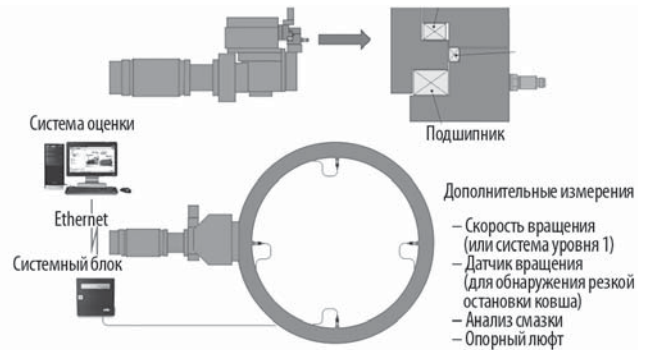


Рис. 2. Конфигурация контроля состояния оборудования для поворотного стенда ковшей

(дорожка качания подшипника). Высота произведенных ударных волн варьируется в зависимости от силы ударов (низкая при очень гладкой поверхности, отчетливо выше при шероховатостях, например из-за сплюсненностей). Детальное описание метода можно найти в работе [1].

Типичная конструкция. В зависимости от величины подшипника и из-за небольшой амплитуды измеренных сигналов было решено разместить четыре сенсора соответственно под 90 град друг к другу в неподвижной части подшипника.

Такая конфигурация гарантирует, что ни один дефект не будет не замечен. Сигналы сенсоров могут обрабатываться «он-» и «оффлайн».

В первом сценарии «онлайн», который представлен на рис. 2, при каждом повороте поворотного стенда производится измерение. Предварительным условием является, чтобы скорость вращения была достаточно стабильной и продолжалась \sim от 15 до 20 с. Четыре сенсора ударного импульса и дополнительный сенсор скорости соединены с блоком управления. Сенсор скорости начинает измерение, и во время или в конце соответствующего измерения блок управления решает, может ли измениться измерение, или колебания скорости были слишком большими.

Ситуация «оффлайн» очень похожая; вместо блока управления сверху применяется переносной измерительный прибор. Старт измерению дает пользователь.

В обоих случаях данные измерений собираются в стандартном компьютере (Standart-PC) в банк данных. Позже эти данные могут быть проанализированы на любом компьютере.

Результаты. Для надежной интерпретации данных важно регулярно проводить измерения. Точечное измерение позволяет сделать хорошие выводы о состоянии подшипника, но так как поведение подшипника со временем меняется, следует предпочитать периодическое измерение (неизменные интервалы «оффлайн» или постоянное (непрерывное) измерение «онлайн»). Например,

новые места излома показывают острые кромки и поэтому более высокие значения; со временем они снова отшлифовываются и показывают уже более низкие значения. Смазка тоже бывает не всегда одинаковой. Поэтому при однократном измерении может случиться, что состояние подшипника пере- или недооценивается.

Анализ данных позволяет как во временной области, так и в области частоты составить представление об общем состоянии и о специфических дефектах подшипника. Как также известно из вибрационных анализов, дефект в наружном кольце может быть выявлен путем сравнения измеренных пиков частоты с теоретическими пиками (на основании данных подшипника и скорости вращения).

Спектры частоты, измеренные в двух различных позициях незадолго до замены этого подшипника, показаны на **рис. 3**. Измерения уже показали повреждения подшипника, которые позже были подтверждены инспекцией. Черные маркировки показывают теоретические пики частоты при повреждении наружного кольца радиального подшипника.

Пример конвертера

У конвертеров аналогичная ситуация. Агрегат вращается время от времени со скоростью $\sim 1 \text{ мин}^{-1}$ на угол не более 180 град. Применяемые в данном случае подшипники рассчитаны на очень длительный срок службы, однако выход из строя одного подшипника не исключен. Сменить подшипник

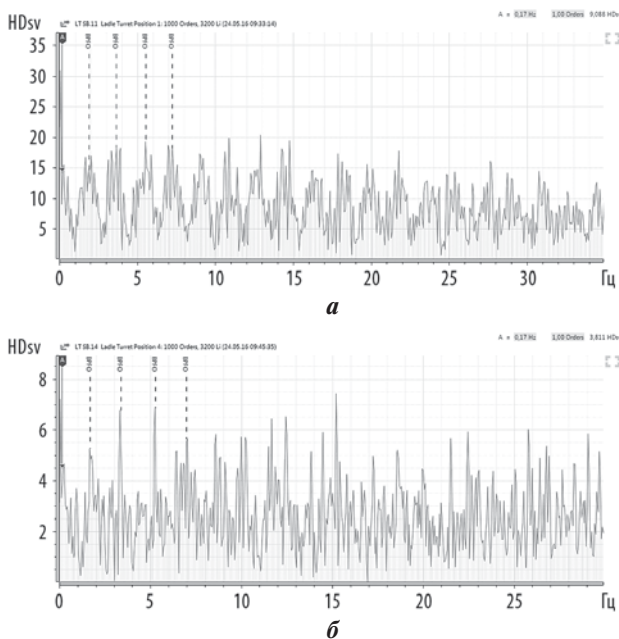


Рис. 3. Спектр частоты:
а – позиция литья; б – смещено на 90 град. влево

опорного кольца конвертера значительно проще, чем поворотный подшипник поворотного станда, однако затратами нельзя пренебрегать. При катастрофическом, внезапном выходе из строя подшипника последствия значительно хуже, так как часто поврежден бывает не только сам подшипник, и ремонт в этом случае дороже. Также важно избежать незапланированного простоя.

Типичная конструкция. Обычно наблюдение ведется за четырьмя подшипниками на каждый конвертер – за двумя подшипниками опорного кольца и двумя главными подшипниками привода. Так как подшипники опорного кольца находятся в большей степени под угрозой повреждения, в этой статье внимание сосредоточено на этих двух подшипниках. Наряду с методом ударного импульса часто применяются еще другие дополнительные технологии контроля, наблюдения за состоянием оборудования, например:

- измерение температуры для предотвращения перегрева подшипника;
- измерение движений съемного подшипника (**рис. 4**);
- измерение наклона цапфы опорного кольца.

Однако эта статья ограничивается применением метода ударного импульса. Архитектура системы аналогична конструкции поворотного станда. Единственное отличие только в том, что на каждый подшипник монтируется только один сенсор. Первые тесты с несколькими сенсорами в соответствующей зоне нагружения подшипника показали, что достаточно одного сенсора.

Для одного «онлайн»-измерения требуется дополнительный сенсор скорости. Как альтернатива это значение, конечно, может также считываться прямо с уровня 1. Каждое стабильное вращение, которое продолжается минимум от 15 до 20 с, регистрируется. Дополнительно информация по скорости применяется для нормирования измерения.

Результаты. Первый анализ измерений рассматривает максимальное значение ударного им-

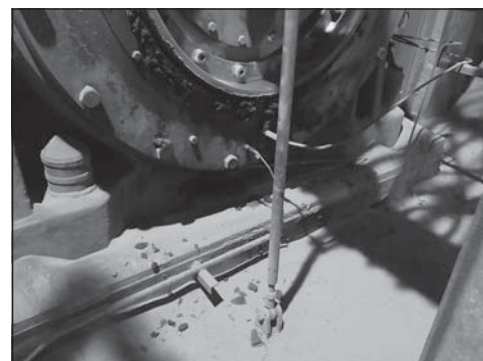


Рис. 4. Размещенный сенсор на съемном (свободном) подшипнике

пульса на измерение и то, как оно изменяется по времени. На рис. 5, а показано, как сильно возросли значения после стабильного периода. Вскоре после этого данный подшипник меняли, причем инспекция подтвердила сильные повреждения. На рис. 5, б показана ситуация на другом конвертере после смены подшипника. Непосредственно после смены, как и ожидалось, значения отчетливо понизились по сравнению с предыдущим периодом. После короткой начальной фазы с повышенными значениями показатели снова понижались и были с тех пор стабильными и низкими.

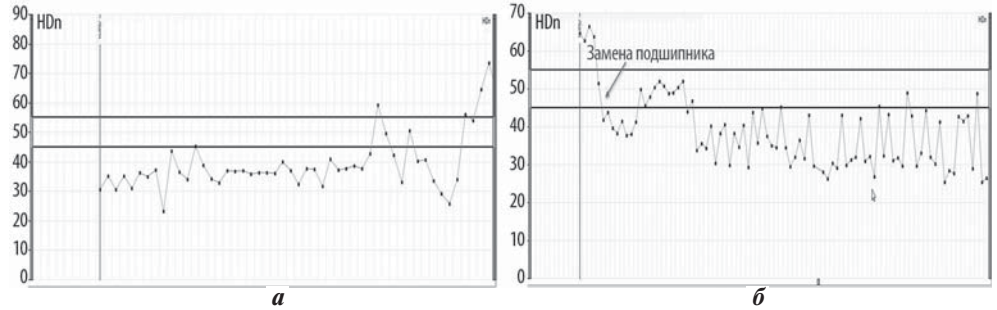


Рис. 5. Максимальное значение измерения:
а — перед; б — после смены подшипника (два различных подшипника)

Как описывалось ранее, для поворотного станда индивидуальные измерения могут анализироваться как в области времени, так и в области частоты.

Акустический эксперт

В настоящее время едва ли возможна работа металлургических установок без применения передовой сенсорной технологии. Широкая палитра сенсоров с различными принципами измерения находит применение, но вид получения сигнала почти не приносит пользу: акустические шумы, которые генерируются деталями установок и агрегатов при работе.

Опытные ремонтники способны оценить состояние машины на основании издаваемого шума.

Используя этот бионический принцип компания Primetals Technologies разработала систему Acoustic Expert (рис. 6), которая непрерывно наблюдает за установками и агрегатами с помощью акустических сенсоров (микрофонов и гидрофонов). Анализ этих шумов показывает, безукоризненно работает оборудование или нет. Данная система обеспечивает различные варианты применения наблюдения и контроля за рабочим состоянием деталей установок: от обнаружения негерметичности до наблюдения за машиной огневой резки на установке непрерывной разливки стали.

Длительные анализы шумов, создаваемых механизмами, позволяют узнавать медленный износ и давать объективную оценку их состоянию.

Система в основном состоит из акустического сенсора, системы переработки сигнала и блока обработки данных. Если необходима дополнительная информация о процессе, то она передается системе через промышленный источник. Избранные мате-

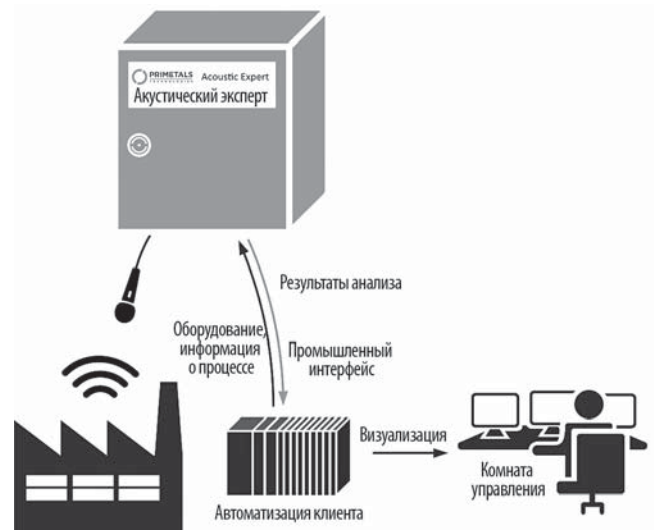


Рис. 6. Обзор системы Acoustic-Expert

матические алгоритмы анализа сигналов на основе ключевых признаков обеспечивают надежный анализ. Поэтому на результаты не влияют фоновые шумы. Полученные данные применяются только для анализа и в итоге аннулируются.

В качестве основы для расчета ключевых признаков преимущественно применяются трансформации Фурье, при этом на основании сигнала во временном пространстве производится расчет представления в частотном пространстве.

Формула (1) показывает определение трансформации Фурье:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt. \quad (1)$$

Применяя выведенную отсюда дискретную трансформацию Фурье (DFT)

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-i\frac{2\pi}{N}nk}, \quad k = 1, 2, \dots, N-1, \quad (2)$$

и подход «Divide and Conquer» получаем быстрое преобразование Фурье (Fast-Fourier-Transformation FFT). Для преобразования FFT применяли



Рис. 7. Визуализация мощности трех различных клапанов

алгоритм Кули-Тьюки (Cooley-Turkey). Дополнительные сведения о трансформации Фурье, DFT или FFT представлены в [2, 3].

Результаты по различным установкам показывают разностороннюю применимость системы, главным образом для непрерывного производства и ухода за оборудованием. Система предоставляет в распоряжение сообщения об общей продолжительности работы (времени эксплуатации), и ее можно несложно, без остановки производственного процесса, монтировать (устанавливать, собирать) и дополнять.

Наблюдение за клапаном установки рукавного фильтра. Первое применение системы Acoustic Expert представляет собой непрерывное наблюдение за процессами очистки на установках рукавных фильтров. Импульсы очистки осуществляются посредством активизации специальных клапанов высокого расхода (High-Flow-вентилей), которые создают характерный шум при активизации. Этот шум регистрируется и анализируется с помощью трех ключевых признаков. Дополнительную информацию, например идентификационный номер активированного в данное время клапана, система получает от промышленного источника. После анализа тенденции результаты визуализируются на ин-

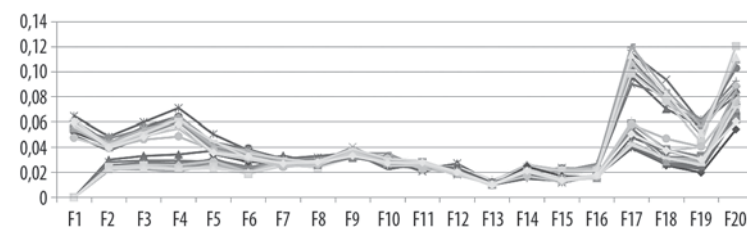


Рис. 8. Основные признаки двух различных видов материала

терфейсе «человек—машина» (ИЧМ).

Кроме визуализации в ИЧМ было разработано новое дополнение для мобильных приборов. Благодаря такой функциональности вся информация по наблюдению за производственной установкой может быть сведена в банк данных. Результаты анализа предоставляются эксплуатационнику посредством интуитивного приложения App на мобильном телефоне.

Результаты трех различных вентилей очистки показаны на рис. 7. Светло-серая область сверху представляет безукоризненный процесс, а темно-серая на нижнем конце графика — ошибочную работу. Дополнительно к тенденции дается еще одна оценка о возможной неисправности.

Распознавание сырьевых материалов и их свойств.

По сравнению с установкой рукавного фильтра, где дефектные клапаны могут быть опознаны опытными эксплуатационниками на слух, вид транспортируемого материала едва ли может быть опознан по шуму, возникающему на передаточных местах у транспортеров. Ситуация меняется благодаря применению системы Acoustic Expert, которая может осуществлять распознавание (отличие) материала, просто прослушивая его.

Результаты анализа двух различных материалов показаны на рис. 8. 20 ключевых признаков рассчитываются и сравниваются друг с другом. При этом каждая линия показывает запись через 10 с. Существенные различия в материалах могут быть опознаны по основным признакам F1, F2, F4, F17 и F18.

Система Acoustic Expert использует эти важные отличия, чтобы за несколько секунд определить вид материала. Чем больше материалов транспортируются на одном транспортере, тем больше ключевых признаков должны применяться для распознавания материала.

Дополнительно к виду транспортируемого материала система Acoustic Expert позволяет указывать качество материала, определяемое по величине зерна.

Наблюдение за установкой огневой резки. Другим применением является наблюдение за фазами процесса полностью автоматизированной машины огневой резки установки непрерывной разливки (таблица). После определения различных

Фазы процесса установки огневой резки		
Название	Описание	Последовательность выборок
Stand-By	Опытное пламя	1–7
Подготовка к резке	Повышенный поток газа	8–14
Синхронизация	Закрепление (зажим)	17–19
Фаза резания А	Надрезание	20–25
Фаза резания В	Прорезание	26–60

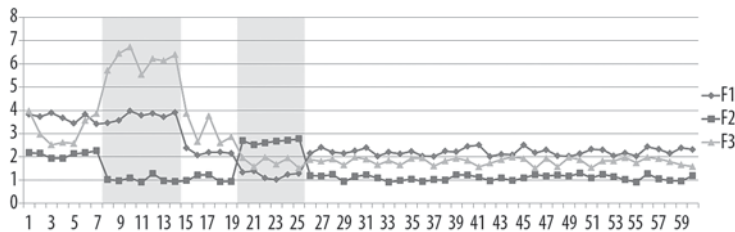


Рис. 9. Результаты анализа установки огневой резки

фаз процесса система дополнительно дает информацию о состоянии установки огневой резки и мощности (энергоёмкости). Преимуществом данной системы также является распознавание успешной резки заготовки.

Записи делятся для анализа на последовательные выборки длиной в 3 с и анализируются с помощью трех основных признаков (F1–F3). Результаты анализа, в зависимости от следующих друг за другом выборок, показаны на рис. 9. Согласно признакам F1–F3 могут определяться различные фазы процесса (см. таблицу).

Дальнейшие применения. Другим применением акустического наблюдения за установкой является распознавание негерметичности, протекания в напорных резервуарах и трубопроводах. На основании четко выраженного шума при выходе газов и жидкостей систему Acoustic Expert можно применять почти во всех областях техники.

Итоги и перспективы

Показаны различные варианты контроля за состоянием оборудования. Вибрационный контроль, является одним из самых известных методов, однако существуют и альтернативные методы, которые могут успешно применяться. Метод ударного импульса делает возможным диагноз очень медленно вращающихся подшипников, который обычно нельзя делать посредством вибрационного наблюдения.

Старейшим методом диагноза состояния механизмов является оценка, осуществляемая человеком, который подходит к оборудованию, рассматривает его, прикасается к нему (вибрационный контроль) и прослушивает его. Изложенный

метод системы Acoustic Expert подражает последнему, но делает это воспроизводимым и количественным образом.

Вызовом для персонала по уходу за оборудованием являются различные решения наблюдения за состоянием оборудования, которые применяются на одном заводе. Эта статья описывает только два из них; обычно их гораздо больше. Чтобы облегчить ежедневную работу команды по уходу за оборудованием, вся информация по наблюдению за состоянием оборудования всего завода проверяется и в итоге производится планирование, какие мероприятия по уходу за оборудованием будут проводиться. Такая холистическая система описана в [4].

ЧМ

Библиографический список

(См. англ. блок).

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 28–33

CONTROL OF STEELMAKING EQUIPMENT PARAMETERS

A. Mayrhofer¹, F. Hartl¹, A. Rohrhofer¹, R. Stohl¹

¹ Primetals Technologies Austria GmbH (Linz, Austria)

E-mail: anna.mayrhofer@primetals.com

Abstract: Different variants of control of the state of steelmaking equipment are presented. Vibration control is of course the most known method, but alternative techniques are existing. E.g. impact impulse method can provide diagnostics of slowly rotating bearings which is impossible via vibration observation. The structure of diagnostics includes evaluation of the specialist using observation, touching and hearing. The presented method is realized inside the Acoustic Expert system with good reproducibility and quantitative parameters. Different observation solutions for monitoring of the state of equipment are used at the works and present a kind of challenge for the technical maintenance personnel. This paper is devoted to two of these challenges, but usually there are a lot of them. To make the daily op-

eration at the technical maintenance team more easy, all information about the state of steelmaking equipment from the whole works is verified, and finally the plan of measures for technical maintenance is concluded.

Key words: technical maintenance of equipment, vibration analysis, bearings, rotation, impact impulse method, speed, converter, noise.

References:

1. Stohl, K.: A New method for predictive maintenance for slow rotating equipment, *Proc. AISTech 2016, 16.–19. Mai 2016, Pittsburgh, USA*.
2. Poornachandra, S.; Sasikala, B.: *Digital Signal Processing*, Tata McGraw Hill, New Delhi, Indien, 2010.
3. Rohrhofer, A.; Kurzmann, T.; Hartl, F.; Aufreiter, P.: Advanced automation solution for steelmaking and environmental plants, *Proc. AISTech 2016, 16.–19. Mai, Pittsburgh, USA*.
4. Haschke, A.; Shalaby, A.: How technological advancements in proactive and predictive maintenance can increase the life-cycle of plant equipment, *Proc. ESTAD 2017, 26.–29. Juni, Wien, Österreich*.

УДК 621.746.047:621.746.019:620.192.45:66.094.3

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССОВ ВТОРИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ УНРС*

Часть 1. Практические примеры оценки вторичного окисления

Д. В. МОРОВ, С. А. БОТНИКОВ, В. Н. ЛАВРОВ**

Одним из основных источников загрязнения металла оксидными неметаллическими включениями является вторичное окисление стали при ее движении от сталеразливочного ковша до кристаллизатора установки непрерывной разливки стали (УНРС). Ко вторичному окислению относится взаимодействие расплава с кислородом из воздуха, взаимодействие со шлаком промежуточного ковша и огнеупорами. Также вторичное окисление в промежуточном ковше может интенсифицироваться из-за турбулентных потоков металла в промежуточном ковше при открытии защитной трубы над уровнем шлака, особенностей внутренней конструкции промежуточного ковша, колебаний уровня металла в промежуточном ковше, чрезмерной аргоновой продувки металла в промежуточном ковше, химического состава огнеупоров и др. На практике затруднительно провести отдельную оценку влияния процессов вторичного окисления на образование оксидных неметаллических включений в промежуточном ковше, так как присутствуют другие процессы, оказывающие значительное влияние на загрязнение металла (например, износ огнеупоров, захват покровного шлака в расплав, попадание ковшового шлака в промежуточный ковш и др.). В статье рассмотрены косвенные и прямые методы оценки процессов вторичного окисления металла в промежуточном ковше при разливке металла на УНРС. Данные методы в большинстве своем хорошо изучены и успешно применяются на практике. Обобщены и проанализированы их достоинства и недостатки, а также определены условия применения каждого метода. В первой части статьи показаны основные практические примеры оценки вторичного окисления металла на УНРС.

Ключевые слова: металл, раскисление, алюминий, содержание общего кислорода в металле, чистота стали, вторичное окисление металла, тонкослябовая установка непрерывной разливки стали, оксидные неметаллические включения, окисление через воздух.

Введение

Растворимость кислорода в твердом железе и сплавах на его основе очень мала, поэтому металл при обычных температурах, как правило, оказывается пересыщенным кислородом. Для предотвращения этого явления металл на выпуске из сталеплавильного агрегата раскисляют. Обычно высококачественные трубные марки стали раскисляют алюминием. Сталь раскисленная алюминием имеет

следующие преимущества: весь кислород удаляется при внепечной обработке стали, и «чистая сталь» содержит от 5 до 20 ppm ($\times 10^{-4}$ %) общего кислорода, отсутствуют выделения газов из стали при разливке даже для высокоуглеродистого сортамента (при условии концентрации водорода менее 2 ppm ($\times 10^{-4}$ %) и азота менее 100 ppm ($\times 10^{-4}$ %)). Недостатками раскисленной алюминием стали являются образование твердых и крупных кластерных неметаллических включений (оксидов) из-за вторичного окисления металла во время разливки, а также затягивания металлопроводки на установках непрерывной разливки стали (УНРС) (отложения тугоплавких включений на разливочном стакане и смыв их в тело слитка). Имеется ряд решений для исключения этих недостатков, например модифицирование включений кальцием и снижение или исключение процессов вторичного окисления металла на УНРС.

Повышение чистоты стали становится все более важной целью и задачей для ученых-металлургов и производителей стали [1]. Потребность в сталях с повышенными механическими свой-

*По материалам международной научной конференции «Физико-химические основы металлургических процессов», посвященной 115-летию со дня рождения академика А. М. Самарина (14–15 ноября 2017 г., ИМЕТ РАН, Москва).

**АО «Выксунский металлургический завод», Выкса, Россия:

Д. В. Морев, начальник литейно-прокатного комплекса (ЛПК); С. А. Ботников, технолог цеха сталеплавильного производства ЛПК; В. Н. Лавров, ведущий специалист отдела металлургических процессов и технологий инженерно-технологического центра;

эл. почта: botnikov_sa@yvw.ru

© Морев Д. В., Ботников С. А., Лавров В. Н., 2018

ствами вынуждает производителей стали повышать чистоту их конечной продукции по неметаллическим включениям (НВ). На зарубежных предприятиях большое внимание уделяют одновременному повышению прочности и пластичности стали, а также уменьшению металлоемкости. Этому может способствовать в большей степени снижение в металле НВ (в частности, оксидных и сульфидных включений) [2].

Таким образом, решение задачи по снижению вторичного окисления металла во время разлива на УНРС является значимой и актуальной для производства высококачественной и конкурентоспособной металлопродукции с пониженным содержанием НВ. Без знаний методов оценки процессов вторичного окисления металла в промежуточном ковше УНРС решить эту задачу эффективно будет проблематично.

Внепечная обработка на агрегате ковш-печь (АКП) и вакууматоре была одной из ключевых и приоритетных областей исследований в течение многих лет в металлургии [1]. Убежденность в том, что чистая сталь получается только в сталеразливочном ковше, неверна, так как есть промежуточный ковш, ухудшающий качество металла. Начало разлива стали на УНРС сопровождается увеличением концентрации кислорода и разброса ее значений, свидетельствующих о наличии процессов вторичного окисления металла на этой технологической стадии производства [3] (рис. 1).

Некоторые производители [4] стремятся улучшить чистоту стали в промежуточном ковше в результате применения специальных решений по устройству ковша (пороги, перемычки, заслонки, металлоприемники и подавители турбулентности) и качества огнеупорных материалов. По мнению авторов статьи, главной задачей является сохранение достигнутого качества металла в сталеразливочном ковше во время перелива стали в промежуточный ковш, т. е. исключение вторичного окисления раскисленного алюминием металла (особенно для металла, модифицированного кальцием). Задача удаления включений в промежуточном ковше имеет второстепенную значимость.

Мелкие включения менее 10 мкм не влияют на качество конечной продукции, однако они могут укрупняться до размеров экзогенного масштаба.

Источниками загрязнения металла оксидными неметаллическими включениями могут быть [5]:

- продукты реакции раскисления металла (эндогенные НВ);
- продукты реакции вторичного окисления металла (эндогенные НВ);
- экзогенные и псевдоэкзогенные НВ (захват и унос шлака сталеразливочного ковша, промежуточного ковша и кристаллизатора; эрозия огнеупоров;

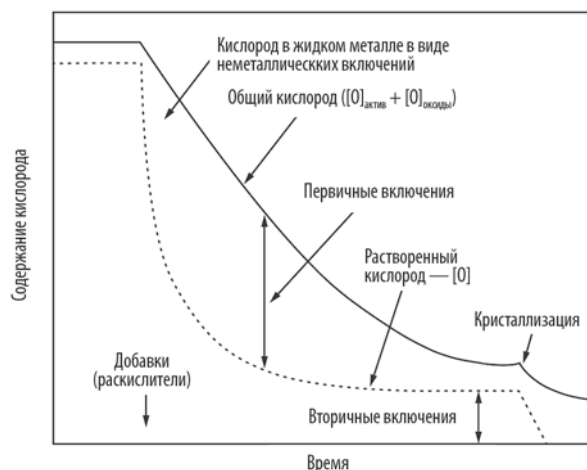


Рис. 1. Концентрация общего кислорода в металле в различные периоды производства [3, стр. 312]

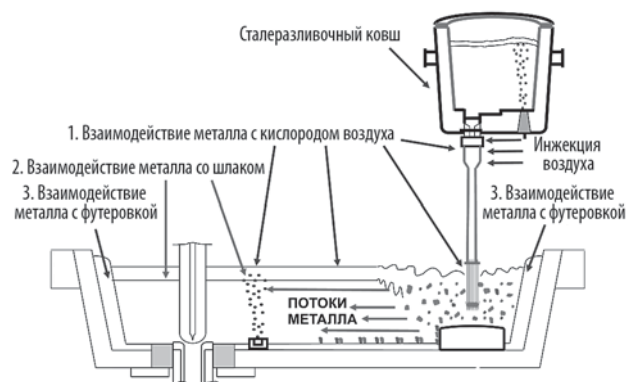


Рис. 2. Общая схема вторичного окисления металла на УНРС

смывы тугоплавких отложений с металлопроводки в тело слитка и др.).

Одним из основных источников загрязнения металла оксидными НВ является вторичное окисление стали при ее движении от сталеразливочного ковша до кристаллизатора УНРС. Ко вторичному окислению относится взаимодействие расплава с кислородом воздуха, взаимодействие со шлаком промежуточного ковша и огнеупорами [6–8]. Также вторичное окисление в промежуточном ковше может интенсифицироваться в результате турбулентных потоков металла в промежуточном ковше при открытии защитной трубы над уровнем шлака; неоптимального внутреннего дизайна промежуточного ковша и металлоприемника; колебания уровня металла в промежуточном ковше; чрезмерной аргоновой продувки металла в промежуточном ковше; химического состава огнеупоров и шлака и др. (рис. 2).

Объектом исследования в данной статье является трубный металл, раскисленный алюминием ($[Al] = 0,015 \div 0,040 \%$ (масс.)). Данные исследования представляют интерес для производителей коррозионностойких сталей с разливкой на УНРС, так

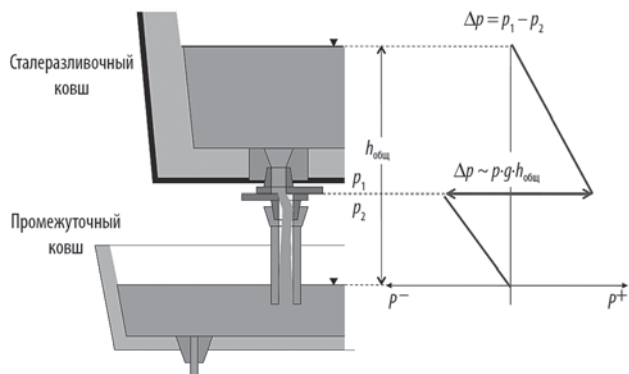


Рис. 3. Нагнетание воздуха через шиберные плиты в результате разницы давлений p :
 $h_{общ}$ — общая высота столба жидкой стали, м;
 p_1 — давление жидкости на высоте сталеразливочного ковша и шибера, Па;
 p_2 — давление жидкости на высоте шибера и защитной трубы, Па; ρ — плотность жидкой стали, кг/м³; g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²)

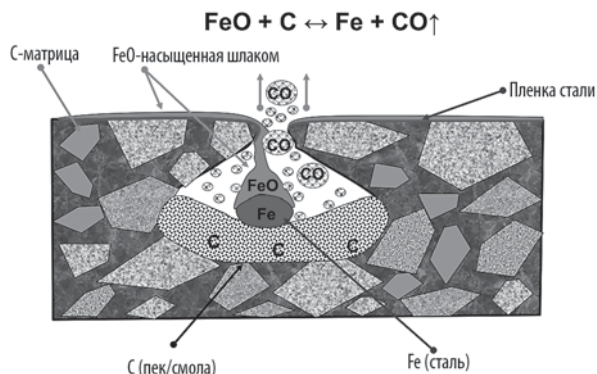


Рис. 4. Схема разрушения матрицы шиберной плиты из-за взаимодействия с оксидом железа (FeO) (инжекция воздуха при взаимодействии с жидким металлом)

как данная сталь содержит активные элементы (Al и Ti), подверженные окислению во время разливки.

Окисление через воздух

Взаимодействие металла с кислородом воздуха (инжекция воздуха) может происходить:

- через шиберные плиты и плиту-коллектор;
- через стальную обечайку коллектора (прогары стакана-коллектора);
- в стык стакана-коллектора и защитной трубы;
- через оголенные участки металла и/или через укрывной шлак при недостаточной толщине;
- наполнение промежуточного ковша металлом (первая плавка в серии/первый сляб/заготовка — это самое интенсивное вторичное окисление в промежуточном ковше на серии плавков).

Взаимодействие металла с кислородом через шиберные плиты и плиту-коллектор происходит из-за эффекта создания областей пониженного

давления при дросселировании шибером сталеразливочного ковша (сильный подсос воздуха между плитами). Также разница давлений приводит к нагнетанию воздуха через шиберные плиты (рис. 3). В процессе эксплуатации шиберных плит происходит разрушение (износ) матрицы плиты, что, в свою очередь, увеличивает инжекцию воздуха в металл через разрушенные участки плит. В этих случаях можно наблюдать насыщение металла азотом (рис. 4).

Величину вторичного окисления через подсосы воздуха можно оценить по поглощению азота с момента последнего анализа на АКП или вакууматора до момента отбора пробы металла из промежуточного ковша или кристаллизатора [9]: прирост азота менее 3 ppm — герметизация хорошая; 3–5 ppm — герметизация приемлемая; 5–7 ppm — герметизация плохая, а значение более 7 ppm свидетельствует о сильном вторичном окислении металла и образовании тугоплавких НВ.

Также общепринято контролировать содержание алюминия: не связанного $[Al]_{кр}$ (кислоторастворимый) и связанного $[Al_2O_3]$ с кислородом и азотом $[AlN]$. В лаборатории на атомно-эмиссионном спектрометре определяют содержание общего и связанного алюминия и далее вычисляют количество НВ по формуле [9]

$$[AlN] + [Al_2O_3] = Al_{общ} - [Al]_{кр}$$

В условиях Литейно-прокатного комплекса (ЛПК) АО «Выксунский металлургический завод» было установлено, что при стойкости шиберных плит 4 и 5 плавков увеличивается индикация по дефекту «пузырь-вздутие» (рис. 5). Кроме того, на сериях проводили контроль содержания в металле азота. На тех плавках, где наблюдался прирост азота от 8 до 14 ppm, стойкость шиберных плит составляла от 3 до 5 плавков.

Насыщение металла азотом может происходить из-за подсоса воздуха в стыковочных узлах защит-

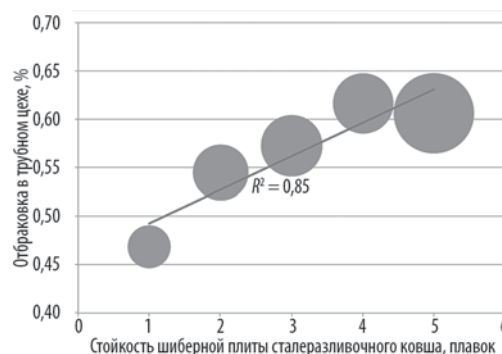


Рис. 5. Отбраковка по дефекту «пузырь-вздутие» в зависимости от стойкости шиберных плит сталеразливочного ковша

ной трубы с коллектором сталеразливочного ковша и при использовании съемных погружных стаканов (тип SES — submerged entry shroud); поглощения воздуха поверхностью открытого металла в промежуточном ковше; вовлечения воздуха незащищенной струей металла при выходе из защитной трубы до поверхности металла (нижний уровень трубы не заглублен в металл) или открытия защитной трубы над уровнем металла и шлака в промежуточном ковше.

Методы оценки процессов вторичного окисления металла

Разливка на УНРС «чистой» стали по оксидным НВ с содержанием общего кислорода менее 20 ppm (раскисленная алюминием) подвержена активным процессам вторичного окисления, которые можно установить следующими методами.

1. Прирост концентрации азота.
2. Анализ изменения содержания химических элементов стали (Al, Si, Mn).
3. Прямой контроль содержания объемной доли НВ.
4. Содержание общего кислорода в сталеразливочном и промежуточном ковшах.
5. Контроль связанного алюминия ($Al_{окс}$) в пробе металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах.
6. Контроль химического состава шлака в промежуточном ковше во время серийной разливки (концентрация MnO и SiO_2).
7. Косвенное ухудшение работы шлакообразующей смеси в кристаллизаторе тонкослябовой УНРС (на поверхности металлопроката наблюдаются поверхностные дефекты металлургического происхождения).

В статье рассмотрены пункты 3 и 7.

Прямой контроль содержания объемной доли НВ

Согласно стандарту определения содержания включений ASTM E1245, для прямого контроля загрязнения стали НВ можно определить объемную долю включений и размеры включений (средний диаметр включений, мкм). Проведено исследование загрязненности проб металла, отобранных из сталеразливочного ковша в конце внепечной обработки (АКП или вакууматор) и в пробах из промежуточного ковша, отобранных в середине разливки плавки на УНРС.

Определение содержания НВ проводили на не травленных металлографических шлифах, изготовленных на расстоянии 2/3 высоты пробы металла. Для повышения точности оценки исследовали площадь не менее 200 мм². Подсчет включений

проводили на металлографическом микроскопе Axio Observer.D1m, оснащенном моторизованным предметным столом и автоматическим анализатором изображения Thixomet Pro. Объемную долю включений рассчитывали как отношение их суммарной площади к общей просмотренной площади образца. Также рассчитывали содержание в общей объемной доле включений размерами 2–10, 10–50, 50–100 и > 100 мкм. Дополнительно провели микрорентгеноспектральный анализ включений (MPCA) на сканирующем электронном микроскопе Ultra-55.

В изученном массиве доля плавов, не обработанных вакуумом, составляет не более 20 %, поэтому приведенные ниже результаты преимущественно характеризуют сталь, обработанную вакуумом.

Исследование показало, что на 41 % исследуемого массива объемная доля включений возрастает в промежуточном ковше в 1,5–4 раза. Это можно объяснить загрязнением металла в промежуточном ковше, например в результате реакций вторичного окисления и других процессов во время разливки металла.

В сталеразливочном ковше обнаружены преимущественно многофазные сложные алюминаты кальция, также присутствуют сульфиды кальция (CaS) и незначительное количество алюминатов магния. Преобладающий размер этих включений < 10 мкм. В пробе, отобранной из промежуточного ковша, НВ в основном представлены укрупненными сложными оксидами алюминатов кальция и магния размером до 50 мкм. При этом обнаружено увеличение доли включений с магнием в промежуточном ковше УНРС и в целом количество включений размером более 50 мкм выше, чем в сталеразливочном ковше. Также обнаружены включения продуктов реакций вторичного окисления металла шлаком, в которых присутствуют в значительном количестве кремний и марганец в виде крупных включений размерами 50–100 мкм и >100 мкм. В некоторых пробах металла из промежуточного ковша были также обнаружены сульфиды кальция на поверхностях включений алюминатов. В целом это подтверждает проблему со вторичным окислением металла в промежуточном ковше.

Косвенное ухудшение работы шлакообразующей смеси в кристаллизаторе УНРС

Одной из причин ухудшения работы шлакообразующей смеси (ШОС) в кристаллизаторе УНРС при разливке металла, раскисленного алюминием, могут быть процессы вторичного окисления металла в промежуточном ковше. В процессе разливки из-за локального повышения содержания в металле окси-

дов может образовываться грубый след качания на поверхности сляба или другие дефекты на поверхности сляба из-за снижения работоспособности ШОС, что на практике приводит к образованию поперечной трещины, и далее в прокате — к дефекту «плена по следу качания». В худшем случае повышение содержания оксидов из-за окисления металла может привести к прилипанию корочки металла к кристаллизатору или к прорыву. Поэтому в процессе производства на тонкослябой УНРС рекомендуется осуществлять в режиме реального времени контроль за поверхностными дефектами и обращать внимание на прилипание корочки слитка к кристаллизатору. Причинами данных отклонений может послужить вторичное окисление металла как через шлак, так и через кислород из воздуха.

Преимущества и недостатки методов оценки процессов вторичного окисления металла на УНРС

В табл. 1 представлены преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов оценки вторичного окисления металла на УНРС.

Выводы

1. Из представленных методов оценки процесса вторичного окисления металла на УНРС нет одного универсального, определяющего полную картину окисления. Поэтому рекомендуется применять все или несколько методов одновременно.

2. Практика работы ЛПК показывает, что процессы вторичного окисления во время разливки металла на УНРС больше всего связаны с поступлением кислорода из воздуха через металлопроводку и открытые участки расплава в промежуточном ковше, а также имеет место поступление кислорода через «кислый» укрывной шлак.

3. В процессе разливки на тонкослябовой УНРС рекомендуется осуществлять в режиме реального времени контроль за поверхностными дефектами (поперечные трещины или плена по следу качания) и обращать внимание на прилипание корочки слитка к кристаллизатору. Причинами данных отклонений могут быть процессы вторичного окисления металла через шлак и кислород из воздуха.

Метод оценки вторичного окисления металла на УНРС	Преимущества	Недостатки
Прирост концентрации азота в металле	Простота и оперативность метода. Достаточно быстро устанавливается сильное вторичное окисление через воздух	Для установления малого вторичного окисления метод не эффективен. Высокая погрешность определения азота для атомно-эмиссионного спектрального анализа (ГОСТ Р 54153), поэтому требуется производить контроль методом плавления образца в потоке аргона
Анализ по изменению химических элементов в стали	Устанавливается полная картина всех процессов вторичного окисления металла. Устанавливаются процессы окисления Mn и Al, восстановления Si и ресульфурации в промежуточном ковше	Высокая погрешность определения Al, Si, Mn и S на атомно-эмиссионном спектрометре (ГОСТ Р 54153)
Прямой контроль содержания объемной доли Nb	Определение чистоты стали в сталеразливочном и промежуточном ковшах. Можно судить о количестве Nb при выплавке и во время разливки стали. Высокая точность для исследовательских нужд	Продолжительность определения содержания Nb в пробах металла. Сложность и дороговизна метода. Ошибки при определении Nb, если не стандартизирован отбор проб металла из жидкого расплава (захват шлака в исследовательскую пробу)
Содержание общего и растворенного кислорода	Высокая точность определения общего кислорода. Низкая стоимость и высокая скорость выдачи результатов по содержанию кислорода в металле в сталеразливочном и промежуточном ковшах	Требуется специальное оборудование для отбора пробы металла в инертной среде. Контроль растворенного кислорода имеет высокую погрешность и для «чистой» стали не эффективен. В лаборатории требуется специальный газоанализатор
Контроль связанного алюминия (Al _{окс.})	Для металла, раскисленного алюминием, определяется полная картина по окислению Al, а также уровень чистоты металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах	Высокая погрешность определения связанного алюминия на атомно-эмиссионном спектрометре (ГОСТ Р 54153). Метод не эффективен для металла, содержащего общий алюминий менее 0,008 % (масс.)
Контроль химического состава шлака в промежуточном ковше	Определяются процессы вторичного окисления металла через шлак	Ошибки в концентрациях оксидов из-за специфики отбора проб шлака (замешивание различных слоев шлака в одну пробу). Необходимость применения специальных пробоотборников для послойного исследования шлака в промежуточном ковше
Косвенное ухудшение работы ШОС в кристаллизаторе и образование поверхностных дефектов на слябе	Оперативная информация о негативном влиянии процессов вторичного окисления металла во время разливки на УНРС	Невозможно с высокой точностью установить источники (причины) вторичного окисления металла (через воздух, шлак, огнеупоры и др.)

Библиографический список

1. Pretorius E. B., Oltmann H. G., Scharf B. T. An overview of steel cleanliness from an industry perspective // AISTech Conference Proceedings, 2013. P. 993–1026.
2. Abraham S., Bodnar R., Raines J. Inclusion engineering and the metallurgy of calcium treatment // AISTech Conference Proceedings, 2013. P. 1243–1257.
3. Seetharaman S., McLean A., Guthrie R., Sridhar S. Treatise on process metallurgy. Vol. 3: Industrial Processes. Elsevier, 2014. — 1744 p.
4. Тассо П., Райхерт Н., Уиллоуби К., Таррель К. Промежуточный ковш как металлургический реактор // Черные металлы. 2012. № 6. С. 50–56.
5. Nakashima J., Toh T. Improvement of Continuously Cast Slabs by Decreasing Nonmetallic Inclusions // Nippon Steel Technical Report. 2013. Vol. 104. P. 42–47.
6. Sahai Y., Emi T. Tundish Technology for Clean Steel Production. — New Jersey : World Scientific, 2008. — 316 p.
7. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Подкорытов А. Л., Ухин В. Е., Кравченко А. В., Оробцев А. Ю. Непрерывная разливка сортовой заготовки : монография. — Донецк : Цифровая типография, 2012. — 417 с.
8. Wünnenberg K., Millman S., Nadif M., Marique C., Sumida M., Weddige H. IISI Study on Clean Steel: State of the Art and Process Technology in Clean Steelmaking. — Brussels : International Iron and Steel Institute, 2004. — 504 p.
9. Ботников С. А. Технология и оборудование УНРС. Производство сортовых и блюмовых непрерывнолитых заготовок : монография — Саарбрюккен : LAP, 2015. — 300 с.

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 34–39

METHODS FOR EVALUATING THE SECONDARY OXIDATION OF THE STEEL IN CCM TUNDISH.

Part 1. Practical examples of estimation of secondary oxidation

D. V. Morov¹, Head of the Casting and rolling complex
S. A. Botnikov¹, Technologist of steelmaking production
V. N. Lavrov¹, Head specialist of the dept. of metallurgical processes and technologies of the scientific-technical center

¹ Vyksa Steel Works (Vyksa, Russia)

E-mail: botnikov_sa@vsw.ru

Abstract: One of the main contaminants of the steel with oxide non-metallic inclusions is the secondary oxidation of the steel when moving from the casting ladle to the mold of continuous casting machine (CCM). The secondary oxidation includes the interaction of liquid steel with the oxygen in the air, the interaction with the slag of tundish and refractories. The secondary oxidation in the tundish can also be intensified by the processes like turbulent flows of steel in the tundish at the opening of the shroud over the slag level, by the particularities of the inner structure of the tundish, by the fluctuations of steel level in the tundish, excessive argon purging in the tundish, chemical composition of the refractories etc. In practice, it is difficult to separately evaluate the impact of the secondary oxidation processes on the formation of oxide non-metallic inclusions in the tundish due to the presence of other essential processes, which also have a significant impact on the steel contamination. For example, refractory wear, covering slag capturing in the melt, ladle slag entering in the tundish etc. In the present article indirect and direct methods for the evaluation of the secondary oxidation of the steel in the tundish during the casting at the CCM are considered. The methods described are good studied in the main and are in use for a quite long time. The authors have tried to generalize and analyze advantages and disadvantages of each method and to define the conditions for applying each of them. The first

part of the article shows the main practical examples of the estimation of the secondary oxidation of metal in the continuous casting machine.

Key words: metal deoxidized with aluminum, content of total oxygen in the metal, cleanliness, secondary oxidation, air oxidation, continuous casting machine, oxide nonmetallic inclusions, methods of estimating, thin slab casting.

References:

1. Pretorius E. B., Oltmann H. G., Scharf B. T. An overview of steel cleanliness from an industry perspective. *AISTech Conference Proceedings*, 2013. pp. 993–1026.
2. Abraham S., Bodnar R., Raines J. Inclusion engineering and the metallurgy of calcium treatment. *AISTech Conference Proceedings*, 2013. pp. 1243–1257.
3. Seetharaman S., McLean A., Guthrie R., Sridhar S. Treatise on process metallurgy. Vol. 3: Industrial Processes. Elsevier, 2014. 1744 p.
4. Tassot P., Reichert N., Willoughby C., Turrel Ch. The tundish as a metallurgical reactor. *Chernye metally*. 2012. № 7. pp. 50–56.
5. Nakashima J., Toh T. Improvement of Continuously Cast Slabs by Decreasing Nonmetallic Inclusions. *Nippon Steel Technical Report*. 2013. Vol. 104. pp. 42–47.
6. Sahai Y., Emi T. Tundish Technology for Clean Steel Production. New Jersey: World Scientific, 2008. 316 p.
7. Smirnov A. N., Kubersky S. V., Podkorytov A. L., Ukhin V. E., Kravchenko A. V., Orobtshev A. Yu. Billet continuous casting: monograph. Donetsk: Tsifrovaya tipografiya, 2012. 417 p.
8. Wünnenberg K., Millman S., Nadif M., Marique C., Sumida M., Weddige H. IISI Study on Clean Steel: State of the Art and Process Technology in Clean Steelmaking. Brussels: International Iron and Steel Institute, 2004. 504 p.
9. Botnikov S. A. Steel continuous casting plant: technology and equipment. Production of bar and bloom continuously cast billets: monograph. Saarbrücken: LAP, 2015. 300 p.

Коликов А. П., Романцев Б. А.

Теория обработки металлов давлением. Учебник

Представлены базовые сведения по механике деформируемых тел: основы теории напряжений и деформаций, физические уравнения связи напряженного и деформированного состояния металла в элементарном объеме (точке) деформируемого тела, модели сплошных сред и их физические соотношения. Изложены общие положения теории обработки металлов давлением: физические основы пластической деформации и сопротивления деформации, пластичности, деформируемости и элементов механики разрушения, основные закономерности контактного трения. Значительное внимание уделено анализу силовых и деформационных параметров процессов горячей и холодной обработки металлов давлением. Приведены примеры решения задач и контрольные вопросы. Предназначен для бакалавров и магистров направления «Металлургия», научных работников и специалистов в области обработки металлов давлением, а также для инженерно-технических работников.

ISBN: 978-5-87623-887-0 Издатель: НИТУ МИСиС
 Страницы: 451 Язык: Russian
 Переплет: твердый Год издания: 2015

Реклама

По вопросам приобретения книги обращайтесь:
 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.,
 стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.
 Эл. почта: books@rudmet.ru
 Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
 Издательский дом

УДК 669.18.046.518:621.746.27

КОНЦЕПЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АПРОБИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Л. ФИШЕР, Й. БАУШ, И. ХЮЛЛЕН, К. ФРЁЛИНГ, М. РЖЕПЧИК, Т. БРАНД, И. КНОПП, Х.-Г. БРАСС*

На протяжении многих лет концерн SMS group модернизирует установки непрерывной разливки стали (УНРС) и внедряет на них современную технологию, ориентированную на будущее. Объем работ варьируется от небольшой локальной оптимизации до коренных изменений УНРС. Концерн SMS group совместно с компанией thyssenkrupp Steel Europe применил концепцию экстенсивной модернизации УНРС № 1, добиваясь повышения качества слабов, расширения сортамента и повышения надежности процесса, одновременно решая задачи охраны природы и эффективного энергопотребления.

Ключевые слова: УНРС, модернизация, ширина сляба, охлаждение, толщина сляба, кристаллизатор, контроль, сляб, качество.

После завершения концерном SMS group работ по проекту полной модернизации УНРС № 1 на заводе компании thyssenkrupp Steel Europe (tkSE) в Дуйсбург-Беккерверте, Германия, установка успешно введена в эксплуатацию в октябре 2014 г. [1].

Двухручьева УНРС радиального типа была построена концерном SMS group в 1974 г. и имела проектную производительность 1,2 млн. т слабов в год.

Проведенная модернизация обеспечит компании tkSE долговременные поставки высококачественной продукции на рынок, в частности на рынок стали для автомобилестроения. Модернизированная УНРС внесет существенный вклад в освоение новых марок TWIP- и TRIP-сталей, сталей с повышенной штампуемостью, с пониженной склонностью к трещинообразованию, трубных сталей и толстых листов.

После завершения приемосдаточных испытаний в июле 2015 г. цели модернизации были сочтены достигнутыми. Производительность УНРС удалось повысить до 2,6 млн. т/год и более, на установке получают слэбы большей ширины (от 1000 до 2150 мм) при толщине 257 мм [2].

* Концерн SMS group GmbH, Дюссельдорф, Германия:

Л. Фишер, руководитель проекта управления процессом непрерывной разливки; Й. Бауш, менеджер по продажам УНРС; докт. И. Хюллен, руководитель отдела технологии непрерывной разливки; докт. К. Фрёллинг, вице-президент по вопросам непрерывной разливки; М. Ржепчик, исполнительный вице-президент отделения металлургических заводов и природоохранных технологий;

компания thyssenkrupp Steel Europe, Дуйсбург, Германия:

Т. Бранд, генеральный директор сталеплавильного отдела; И. Кнопп, руководитель производства слабов на заводе в Беккерверте; Х.-Г. Брасс, руководитель производства слабов на заводе в Беккерверте;

эл. почта: lothar.fischer@sms-group.com

© Фишер Л., Бауш Й., Хюллен И., Фрёллинг К., Ржепчик М., Бранд Т., Кнопп И., Брасс Х.-Г., 2018

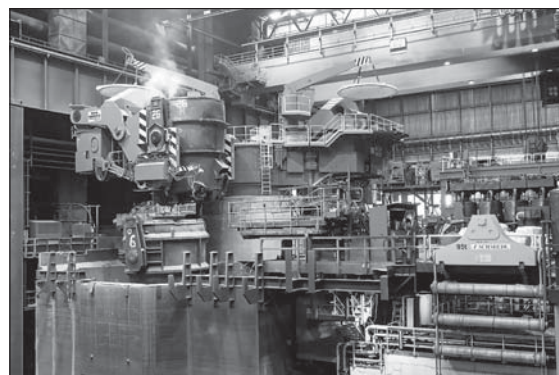


Рис. 1. Новый подъемно-поворотный стэнд и сталеразливочная площадка

Описание оборудования и концепция модернизации

Целью проекта являлось полное переоборудование двухручьева УНРС радиального типа № 1 на заводе компании tkSE в Дуйсбург-Беккерверте (рис. 1).

Модернизированная УНРС рассчитана на производство слабов шириной от 1000 до 2150 мм, т. е. сортамент слабов по ширине увеличен на 290 мм. Толщина слабов осталась неизменной (257 мм), однако в проекте установки предусмотрена возможность увеличения толщины слабов до 350 мм.

Разрабатывая проект модернизации, инженеры концерна SMS group совместно со специалистами компании thyssenkrupp тщательно проанализировали различные варианты и выбрали наиболее подходящий, обеспечивающий самую быструю и экономичную реконструкцию.

Вначале для уточнения исходных данных провели трехмерное лазерное сканирование действующей УНРС, обращая особое внимание на возможность сохранения большей части ее оборудования, с которым могли быть идеально совмещены добавляемые модули.

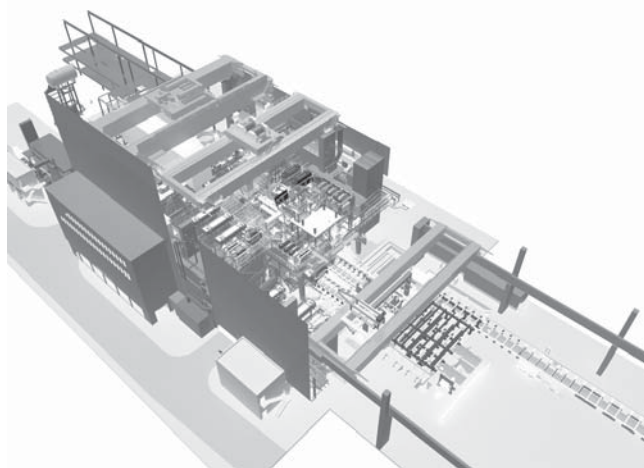


Рис. 2. Трехмерная модель УНРС

Используя результаты трехмерного сканирования, разработали проект установки, согласованный на совместных обсуждениях проектировщиков и конструкторов (рис. 2).

Для модернизации УНРС компании thyssenkrupp концерн SMS group разработал технический проект реконструкции двухручьевого устройства радиального типа и поставки всех компонентов механического оборудования для реализации технологии X-Cast — от кристаллизаторов до оборудования выходной стороны УНРС. Объем поставок также включал все электрооборудование и системы автоматизированного управления, соответствующие единой концепции безопасной и надежной технологии. Таким образом, компания thyssenkrupp получала оборудование и технологию из одного источника, что гарантировало надежность процесса. Кроме того, в обязанности концерна SMS group входил полный надзор за строительными работами, пусконаладочными работами и подготовка персонала. Компания tkSE обратила особое внимание концерна SMS, проводящего модернизацию, на необходимость создания простой в управлении УНРС, несложной в техническом обслуживании, но прежде всего — обладающей максимальной производственной готовностью.

Перед концерном SMS была поставлена задача увеличить емкость промежуточного ковша с 50 до 75 т. Было решено, что УНРС сохранит радиальную форму с двумя независимыми ручьями. Конструкция должна способствовать минимизации изгибающих напряжений в заготовках благодаря удлинению правильной зоны и увеличению числа точек разгиба до 10. Для дальнейшего повышения качества сегментные рольганги разделены, и расстояния между ними оптимизированы. Принцип вторичного охлаждения сохранен, но изменена охлаждающая среда — с воды на водовоздушную смесь, подачу которой можно варьировать по ширине заготовки.

Основные технико-экономические характеристики УНРС № 1		
	До модернизации	После модернизации
Тип УНРС	Радиальная	Радиальная
Радиус, м	12	12
Длина кристаллизатора, мм	800	900
Число точек контроля и прогнозирования прорывов металла, ед.	30	130
Металлургическая длина, м	33	32,4 (37)
Число сегментов, ед.	0–18	0–13 (15)
Число точек разгиба, ед.	5	10
Ширина сляба, мм	1180–2040	1000–2150
Толщина сляба, мм	257 (холодный)	257 (холодный) (350)
Форсуночное охлаждение	Водяное	Водовоздушное
Максимальная скорость разлива, м/мин	1,35	1,35 (1,5)
Емкость промежуточного ковша, т	50	75
Номинальная производительность, тыс. т/мес	220	235

Общий уровень высоты сталеразливочной площадки и отводящих рольгангов на участке выдачи заготовок был сохранен. Оборудование для ремонта и технического обслуживания также было адаптировано с учетом новых кристаллизаторов, механизмов качания и конструкции сегментов в рабочей зоне, а также включая регулирующее устройство HD LASr.

Новое электрическое оборудование, системы автоматизированного контроля и управления, а также новые компоненты системы управления всем технологическим процессом на УНРС № 1 были использованы в процессе модернизации. В новые системы управления были интегрированы и действующие системы управления на заводе компании thyssenkrupp. В таблице приведены основные технико-экономические характеристики УНРС.

На реконструированной УНРС можно отливать высококачественные заготовки из высокопрочных марок стали классов AHSS (улучшенные высокопрочные и высокопрочные нелегированные), ULS (особонизкоуглеродистые) и IF (стали без атомов внедрения в микроструктуре), а также для получения жести, полосового проката, для производства сварных труб большого и малого диаметра, для прокатки толстых листов на четырехвалковых станах.

Повышение качества продукции и освоение продукции с высокой добавленной стоимостью

Транспортирование жидкой стали. «Чистая» металлургическая технология начинается с подготовки жидкой стали к разливу и продолжается в УНРС. Уровень чистоты технологического процесса повысился после увеличения емкости про-

межуточного ковша на 25 т — до 75 т. Кроме того, новая конструкция промежуточного ковша обладает лучшими буферными функциями при смене ковшей. Соответственно, внесены изменения также в конструкции подъемно-поворотного стенда ковша и тележки промежуточного ковша. Установлен новый подъемно-поворотный стенд S-образного типа со встроенным механизмом наклона ковшей и независимым механизмом подъема ковшей массой до 290 т. Для перемещения тележки промежуточного ковша предусмотрен электромеханический привод. С целью улучшения условий безопасного труда на сталеразливочной площадке применен гидравлический манипулятор для установки защитной трубы между сталеразливочным и промежуточным ковшами, а также многофункциональный манипулятор для отбора проб и измерения температуры.

Направляющее устройство ручья УНРС. Для предотвращения образования трещин в заготовке основное внимание было уделено внутренним деформациям металла при загибе, а также при разгибе заготовок в процессе правки. Конструкция УНРС с криволинейным кристаллизатором неизбежно предполагает такой недостаток, как зона изгиба непрерывнолитой заготовки (рис. 3). Для дальнейшего снижения уровня изгибающих напряжений в зоне разгиба-правки число точек разгиба увеличено до 10. Основным аргументом для компании thyssenkrupp в пользу сохранения криволинейной схемы оптимизированной УНРС № 1 послужили следующие соображения. Располагая обоими типами УНРС (в том числе УНРС № 2 вертикального типа) на заводе в Беккерверте, компания thyssenkrupp сможет расширить марочный сегмент сортамента сталей, предлагаемых на рынке.

Для установки кристаллизатора и первого сегмента в правильном положении центрирующие болты фиксируют относительно одной оси на раме механизма качания кристаллизатора. Новая конструкция этого узла решает задачи плавной, не приводящей к возникновению внутренних напряжений передаче от кристаллизатора к первому сегменту только что сформированной, но еще недостаточно прочной заготовки. При установке в рабочее по-

ложение кристаллизатора и первого сегмента они автоматически выравниваются относительно оси разливки и присоединяются к гидравлическим системам с помощью штуцеров из коррозионностойкой стали. Кристаллизатор и первый сегмент могут быть извлечены из УНРС совместно, единым блоком, для проведения технического обслуживания.

Интеллектуальные решения системы вторичного охлаждения. Эффективное и равномерное охлаждение важно как для достижения высокой производительности УНРС, так и для получения высококачественной продукции. Системы охлаждения, предлагаемые концерном SMS, отличаются возможностью прецизионного регулирования интенсивности охлаждения в зависимости от ширины сляба, что предотвращает возникновение поверхностных трещин.

Начиная с первого сегмента охлаждающая среда в системе вторичного охлаждения постепенно изменяется от водяной до водовоздушной смеси, подаваемой с помощью новых компрессорных установок, которыми оборудован каждый из двух ручьев. Каждая из сторон сегментов 1–8 — свободная и закрепленная — разделена на пять зон контроля для более гибкого регулирования распределения охлаждающей среды по ширине сляба.

Высокое качество поверхности и внутренней структуры заготовки достигается благодаря устройству для регулирования охлаждения по ширине сляба, работой которого полностью управляет новая автоматизированная система контроля X-Pact Solid Control (ранее называлась Dynamic solidification control model, DSC) с расширенными функциями. К подобным функциям системы относятся: расчет трехмерных моделей; наблюдение за длиной участка затвердевания; отслеживание марок стали; мониторинг деформаций и выпучивания заготовки; регулятор фронта затвердевания; максимизация температуры выхода слябов из УНРС; построение кривых охлаждения и температурных кривых; расчет теплопроводности или толщины слоя окалина в зависимости от марки стали; расчет твердой фракции и диаграммы пластичности, зазора между сегментами и K-фактора; регулирование и воспроизведение температуры в режиме реального времени.

Для минимизации расхода воздуха или воды при отливке толстых слябов можно применять сухую разливку (если толщина затвердевающего сляба превышает примерно 100 мм). Соответственно, горизонтальные сегменты Cyberlink применяют без вторичного охлаждения. Однако в конструкцию рольгангов заложены вращающиеся ролики с внутренним охлаждением для защиты от перегрева, благодаря чему можно начинать сухую разливку с сегмента 2.

В результате достигается максимальная эффективность охлаждения при разливке максимально



Рис. 3. Трехмерная модель направляющего устройства двухручьевого УНРС

широкого сортамента с максимальными скоростями разливки для всех марок стали, особенно для сталей микролегированных перитектических и микролегированных среднеуглеродистых.

Гидравлическое регулирование сегментов. Наиболее современные направляющие системы ручьев УНРС характеризуются наличием устройств для позиционирования сегментов в криволинейной и горизонтальной зонах. Такая система позволяет быстро регулировать толщину сляба в процессе разливки с помощью динамического гидравлического механизма с автоматизированным управлением X-Pact Gap Control. В случае применения в линии УНРС мягкого обжатия сляба появляется возможность регулирования макросегрегации и структуры кристаллизации в осевой зоне с целью предотвращения образования трещин и получения равномерной микроструктуры сляба.

Сегменты размещены в рамной конструкции, выполненной из толстых листов и обладающей высокой жесткостью. Рама отличается большим сроком службы и способствует высокой производственной готовности УНРС. Кроме того, весь криволинейный участок направляющих ручья УНРС помещен в туннельной охлаждаемой камере, обеспечивающей доступ к сегментам при ремонте, защищающей оборудование (например, гидравлические цилиндры), которое оказывается вне зоны водяного охлаждения, и одновременно уменьшающей коррозию стальных конструкций.

Значительное повышение доли слябов, непосредственно подаваемых с УНРС на прокатку, приводит к заметному улучшению технологических процессов на предприятиях компании tkSE.

Повышение выхода годного и объема производства заготовок, применение гибких маршрутов производства

Применение дополнительных сегментных роликов или сегментов, опорной рамы и втягиваемых направляющих позволяет увеличивать размеры направляющего устройства. УНРС № 1 была подготовлена к увеличению длины зоны сдерживания путем добавления двух сегментов (рис. 4).

Имеется возможность повысить скорость разливки и соответственно увеличить производительность УНРС: добавление одного сегмента позволяет повысить скорость разливки примерно на 0,1 м/мин, что ведет к росту производительности на 80 тыс. т/год. Это позволит освоить разливку новых марок стали, а при повышении скорости разливки заготовка поступает в зону разгиба при более высокой температуре. Для многих марок стали это означает уменьшение числа поверхностных трещин, т. е. повышение качества заготовки.

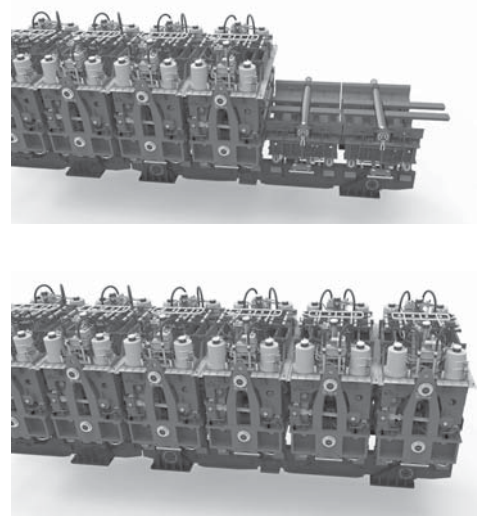


Рис. 4. Подготовка к удлинению направляющих ручья

Возможная дальнейшая реконструкция гидравлического механизма регулирования толщины слябов с увеличением размера по толщине от 257 до 350 мм позволит освоить производство заготовок для прокатки толстых листов и для сварных труб большого диаметра. Таким образом, небольшое изменение размерного сортамента может расширить области применения продукции и повысить производительность.

Кристаллизатор. Длина кристаллизатора была увеличена с 800 до 900 мм, что позволило повысить скорость разливки при увеличении длины направляющего устройства. Кристаллизатор подготовлен также к увеличению толщины отливаемого сляба до 350 мм.

Точное регулирование стабильных узких стенок кристаллизатора весьма важно, и новая конструкция кристаллизатора позволяет легко решать эту задачу. Для предотвращения люфта и динамического изгиба узкие стенки кристаллизатора снабжены прецизионными шпинделями и оптимизированными опорными плитами. Таким образом обеспечивается равномерная теплопередача через узкие стенки и сводится к минимуму риск образования продольных или поперечных трещин в углах сляба. Можно применять высокие скорости разливки, так как вероятность разрывов значительно уменьшается.

Система X-Pact Level Control позволяет поддерживать стабильный уровень металла в кристаллизаторе и автоматически реагирует на изменение марки стали или ширины сляба.

Для криволинейного кристаллизатора характерно применение системы X-Pact Width Adjust (рис. 5). Любое регулирование ширины сляба и автоматическая корректировка конусности кристаллизатора могут быть выполнены в ходе технологического процесса без необходимости снижения скорости разливки. Положение узких сторон

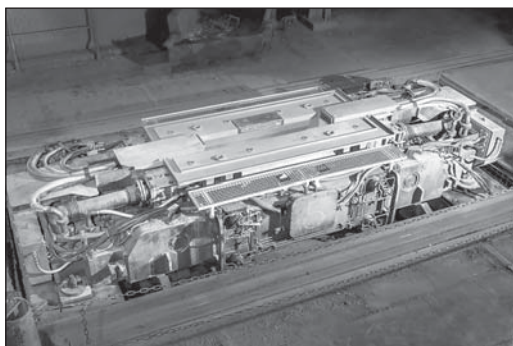


Рис. 5. Встроенный кристаллизатор

кристаллизатора регулируется быстро; при этом образуется очень короткая переходная зона, что ведет к повышению выхода годного.

Выполняя такую настройку, система учитывает марку стали и скорость разлива. Для оптимизации разлива марок стали, склонных к образованию трещин, применяют весьма мягкое обжатие заготовок. При увеличении ширины заготовки зазор между узкими стенками кристаллизатора и заготовкой поддерживают минимальный, что сводит к минимуму риск любых разрывов.

На рис. 6 показано, что уменьшение ширины сляба на 200 мм (с 1300 до 1100 мм) может быть достигнуто на участке небольшой длины — всего 6,3 м.

Система HD mold. Система мониторинга кристаллизатора HD mold^{TC}, основанная на использовании термопар, установлена на новом кристаллизаторе (рис. 7). В системе предусмотрены 130 точек контроля, что помогает предотвратить прорывы металла и выявить продольные поверхностные трещины.

Кроме того, система контроля позволяет оценивать в режиме реального времени глубинные процессы, происходящие в жидком затвердевающем металле, которые в большой степени определяют качество отливки.

Благодаря увеличению в 4 раза числа точек контроля, распределенных по всей высоте кристаллизатора, система HD mold^{FO}, основанная на использовании



Рис. 6. Уменьшение ширины сляба на 200 мм (с 1300 до 1100 мм) на коротком участке длиной всего 6,3 м

волоконной оптики, выдает на дисплей детальную картину процесса кристаллизации, повышая тем самым надежность и безопасность производственного процесса. Система обеспечивает получение еще более релевантной информации, позволяющей предотвращать прорывы жидкого металла и более надежно выявлять налипания и возникновение продольных трещин, а также значительно лучше воспроизводит карту плотности тепловых потоков.

Различные типы систем HD mold^{TC} и HD mold^{FO} применяют как альтернативные варианты. Система HD mold^{FO}, в которой использованы волоконно-оптические датчики, конфигурирована для совместной работы с термопарами и обладает высокой гибкостью. Таким образом, сигналы от термопар с широких сторон кристаллизатора совместно с сигналами от волоконно-оптических датчиков, поступающими с узких сторон кристаллизатора, создают единую картину.

В сложных ситуациях несколько помощников могут прийти на помощь оператору, что также повлияло на выбор компанией thyssenkrupp системы HD mold^{FO}.

Подсистема предотвращения прорывов металла Breakout Prevention Assist надежно предотвращает прорывы, происходящие вследствие налипания металла на поверхность кристаллизатора. Эта подсистема гарантирует надежную защиту и высокую производственную готовность оборудования. Подсистема контроля температуры кристаллизатора Mould Temperature Assist предоставляет двух- и трехмерную информацию о распределении теплопередачи, положении погружного сопла, эффекте перемешивания и контакте между заготовкой и медными пластинами кристаллизатора.

Прямая визуализация локальной толщины заготовки в ручье УНРС, а также относительной толщины жидкого и твердого слоев порошкообразной смазки кристаллизатора возможна только при использовании системы HD mold^{FO}, которая позволяет лучше понять ход процесса кристаллизации. Сокращение числа ошибок и нарушений в ходе технологического процесса ведет к улучшению ка-

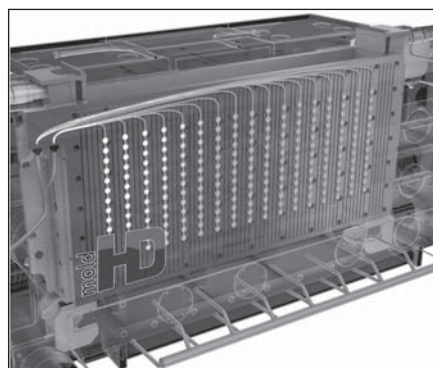


Рис. 7. Принцип системы мониторинга HD mold

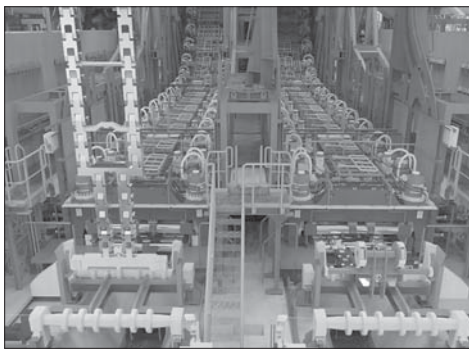


Рис. 8. Подача затравки сверху и тележка для подачи затравки на сталеразливочной площадке

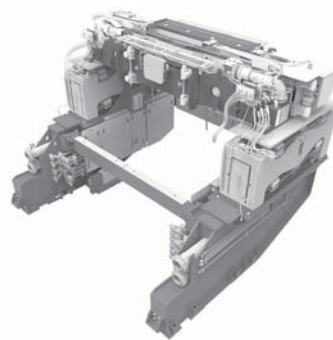


Рис. 9. Резонансный механизм качания кристаллизатора с гидравлическим приводом

чества продукции и способствуют более высокой производственной готовности оборудования.

Система затравки. Цепную затравку задают сверху с помощью тележки и лебедки для установки в рабочее положение (рис. 8).

Устройство для быстрого разделения крепления затравки и гидравлического привода при выполнении работ по ремонту или техническому обслуживанию было заменено саморазъемным патроном крепления затравки. Для постоянного контроля геометрии направляющих блоков ручья в затравку встроены контрольные устройства, отслеживающие положение оси ручья и величину зазора между роликами.

Сокращение текущих производственных расходов

Механизм качания кристаллизатора. Резонансный механизм качания с гидравлическим приводом, разработанный концерном SMS group, отличается сочетанием двух элементов: подвеской на плоских рессорах, ответственной за высокую точность перемещения, и гидравлическим приводом, обеспечивающим высокую гибкость системы и динамический контроль в режиме «онлайн» основных параметров колебаний (амплитуды, частоты и формы волн).

Система характеризуется высокой ремонтопригодностью и надежным контролем работы короткоходового механизма качания с высокой частотой, что приводит к уменьшению глубины отпечатков качания кристаллизатора, а следовательно, к повышению качества поверхности (рис. 9).

Сигналы на выходе системы постоянно сравниваются, что позволяет выявить любое отклонение от синхронного движения цилиндров.

Eco-Mode. Благодаря использованию энергосберегающего режима Eco-Mode, при котором медиасистемы активируются только до той степени, которая необходима в каждой конкретной ситуации, модернизированная УНРС соответствует

ужесточенным требованиям природоохранных стандартов. В зависимости от статуса завода или цеха, оператор может установить для системы энергосбережения режим «max» и отключить всю аппаратуру и приспособления; режим «off», при котором система энергосбережения отключена; режим «on» для подключения резервных или неиспользуемых устройств.

Благодаря объединению заводских систем охлаждения, подачи сжатого воздуха для вторичного охлаждения, гидравлических систем и газопроводов природного газа в общую сеть, структура которой соответствует конкретным требованиям заказчика, удастся минимизировать расход энергии в ходе технологического процесса и реализовать мероприятия по защите окружающей среды.

Интеллектуальные компоненты оборудования и систем — поколение «Индустрии 4.0»

HD LASr. Более широкое внедрение цифровых технологий в черную металлургию является частью стратегии концерна SMS group. В ее рамках были разработаны различные подходы к применению компьютерных технологий в операциях технического обслуживания оборудования. Одна из таких разработок, принятых компанией thyssenkrupp Steel Europe, — виртуальный ассистент установки оси ручья HD LASr.

Точная установка оси ручья УНРС — одно из важных условий получения высококачественных слабов. Очевидным решением этой задачи служит применение наиболее точной современной измерительной техники для контроля положения оси ручья; к такой технике относится лазерная следящая система (рис. 10).

Концерн SMS group предложил измерительную концепцию, согласно которой операторы технического обслуживания оборудования могут легко применять для установки оси ручья лазерное следящее устройство — виртуальный ассистент HD LASr. Основным компонентом этого устройства является адаптированное к требованиям заказчика программное обеспечение, которое облегчает практическое использование устройства: в соответствии с рекомендациями программы оператор интуитивно выполняет и завершает измерения в кратчайшие сроки.

Таким образом, осталась в прошлом потребность в многочисленных и разнообразных темплетях, приблизительно соответствующих реальным



Рис. 10. Цифровая следящая система HD LASr, контролирующая положение оси ручья

условиям разливки, с помощью которых удавалось достигнуть сравнительно низкой точности выравнивания оси ручья.

Прибор HD LASr автоматически регистрирует результаты измерений и публикует протоколы цифрового контроля. Результаты измерений и корректировки положения оси ручья будут оценены на значительно более высоком уровне. Отчеты о качестве слябов можно

группировать по различным показателям, анализировать и устанавливать корреляционные зависимости. Для компонентов оборудования, на которых проводят измерения, упрощается прогнозирование срока службы. Достаточное число запасных деталей и сменного оборудования можно заказывать своевременно и благодаря этому сократить запасы хранения на складе. Это становится возможным при интегрировании цифровых систем, учитывающих информацию о техническом обслуживании.

Основной особенностью прибора HD LASr является возможность сравнения в трехмерном пространстве фактических результатов лазерных измерений объектов и номинальных значений этих показателей. Оператор немедленно получает указания о требуемых корректирующих воздействиях для возвращения объекта в оптимальную позицию. Любое релевантное точечное, линейное или плоское корректирующее воздействие в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскостях будет зарегистрировано. Высокая точность измерений, выполняемых прибором HD LASr, стратегия «нулевой» ошибки при использовании избыточных измерений, точное и надежное фиксирование информации, аутентичная оценка результатов измерений и автоматическая выдача протокола контрольных операций — по всем этим показателям система HD LASr превосходит другие системы.

Система автоматизированного управления технологическим процессом. В новой системе автоматизированного управления технологическим процессом интегрированы различные сценарии и использованы самые современные средства автоматизации и инновационные концепции их объединения в единую систему (рис. 11). Система характеризуется высоким уровнем автоматиза-



Рис. 11. Новый центральный пульт управления

ции и располагает центральным пультом управления, пультом управления УНРС и локальными операторскими панелями; все они основаны на использовании комплексов PCS7 со встроенными функциями безопасности. Все подсистемы, полученные от субподрядчиков, полностью интегрированы в эту систему. Интерфейсы позволяют осуществлять связь также с существующими системами автоматизации на предприятиях компании thyssenkrupp.

Все намеченные мероприятия реализованы

Для своевременного обучения производственного и ремонтного персонала компании tkSE, а также для минимизации продолжительности пусконаладочного периода, концерн SMS group начал испытания по интеграции своего оборудования и систем автоматизации задолго до сдачи их в эксплуатацию, широко привлекая к этим испытаниям заказчиков. Благодаря этому сотрудники компании tkSE к моменту ввода оборудования в эксплуатацию уже были знакомы с концепцией автоматизации и с программным обеспечением.

Обычные интеграционные испытания концерна SMS включали монтаж механического оборудования в соответствии с разработанным проектом и пробный пуск оборудования. Программа моделирования позволила проверить в режиме реального времени все кинематические характеристики, включая динамику инерционных масс и перемещение металла в ручье (анимация) и учитывая все входящие и выходящие сигналы (IO). Все применяемые программы, осуществляющие контроль и управление технологическими операциями, были протестированы на 100 %.

В ходе строительно-монтажных работ широко применяли предварительную сборку и тестирование оборудования, что позволило сократить общую продолжительность монтажа. Такие сооружения и оборудование, как пульта управления электрооборудованием и средствами автоматизации, насосы и компрессоры, новый бак с аварийным запасом воды, новые экономичные электро-

приводы класса 2 IE2, могут быть возведены и установлены прежде, чем произойдет полная остановка технологической линии.

Предварительно протестированные системы автоматизации, оборудованные удобными в использовании интерфейсами «человек—машина», располагающими дополнительными аналитическими опциями, взаимной блокировкой и байпас-функцией, были установлены в помещениях с ПЛК и сразу включены в работу.

При монтаже нового оборудования его сразу подключали к соответствующей системе автоматизированного управления и на данном конкретном участке проводили комплекс приемосдаточных работ.

Потребовалось всего несколько успешно выполненных горячих опробований, моделирующих работу нового оборудования, проведенных совместно с производственным персоналом компании thyssenkrupp, чтобы подготовить УНРС к разливке первой плавки.

Для гарантирования быстрого ввода в эксплуатацию и освоения УНРС после модернизации была применена сложная автоматизированная система, протестированная и предварительно оптимизированная с использованием реалистичных моделей перед началом пусконаладочных работ.

Выводы

На протяжении многих лет концерн SMS group модернизирует различные установки непрерывной разливки стали и внедряет на них перспективную технологию, ориентированную на будущее.



Рис. 12. Готовые слябы на отводящем рольганге УНРС завода компании tkSE в Дуйсбург-Беккерверте

В данной статье рассмотрены различные варианты модернизации — от небольшой локальной оптимизации до принципиальных изменений УНРС, как, например, в недавно завершённом проекте модернизации УНРС № 1 компании tkSE на заводе в Дуйсбург-Беккерверте (рис. 12).

В данном проекте реализованы конкретные требования, сформулированные компанией thyssenkrupp: повышение качества слябов, освоение новых видов продукции с высокой добавленной стоимостью, повышение выхода годного и увеличение годового объема производства завода, сокращение текущих производственных расходов и прогресс в компьютеризации металлургического предприятия.

ЧМ

Библиографический список

(См. англ. блок).

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 40–47

THE CONCEPTS OF PERSPECTIVE MODERNIZATION USING TESTED AND APPROVED CONTINUOUS CASTING TECHNOLOGY

- L. Fischer**¹, Head of project management, Continuous casting dept.
J. Bausch¹, Sales manager, Continuous casting dept.
I. Hüllen¹, Dr., Head of the Process, Continuous casting dept.
Ch. Fröhling¹, Dr., Vice President, Continuous casting dept.
M. Rzepczyk¹, Executive Vice president, Metallurgical plants and environmental technology division
T. Brand², CEO BU Steel production
I. Knopp², Head of slab production Beeckerwerth
H.-G. Brass², Head of slab production Beeckerwerth

¹ SMS group GmbH (Düsseldorf, Germany)

² thyssenkrupp Steel Europe (Duisburg, Germany)

E-mail: lothar.fischer@sms-group.com

Abstract: Following comprehensive modernization by SMS group, the continuous caster No 1 at the works of thyssenkrupp Steel Europe in Duisburg-Beeckerwerth, Germany, was successfully put into operation again in October 2014. The two-strand casting plant had been built in 1974 by SMS group as bow type designed for a production of originally 1.2 million t/a of slabs at that time. The modernized plant will enable thyssen-

krupp to provide the market and particularly the automotive industry with high-quality products for a long time. The new caster is a significant contribution to the production of TWIP, TRIP, higher-strain and crack-sensitive grades as well as pipes and plates. With the acceptance test completed in July 2015, the challenging goals set for the conversion have been achieved. The production could be increased to more than 2.6 million t/a offering slabs with an enlarged width range of 1000 up to 2150 mm at a thickness of 257 mm. For many years SMS group has been modernizing various continuous casters and equipping them with future-oriented technology. The scope ranges from small optimizations right up to far-reaching changes of the continuous casters like particularly the recent modernization of thyssenkrupp Steel Europe's caster No. 1 in Duisburg-Beeckerwerth. The concrete measures have been defined according to the thyssenkrupp's objectives: the improvement of the slab quality, the introduction of value-added products, the increase of plant yield and plant capacity, the reduction of operational costs and the promotion of digitization of the steel plant.

Key words: continuous casting, modernization, slab width, slab thickness, cooling, mould, quality control.

References:

1. Moderne Kühltechnologie verbessert Brammenqualität, *stahl u. eis* 134 (2014) No 8, p. 21/22.
2. *Newsletter SMS group* (2016) No 2.

ИЗНОС ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

К. Н. ВДОВИН, Н. А. ФЕОКТИСТОВ, Д. А. ГОРЛЕНКО, Н. В. КОПЦЕВА*

Рассмотрено применение высокомарганцевой стали в промышленности, показаны изделия, наиболее часто применяемые в горнорудной отрасли. На специально отлитых образцах изучали влияние легирования азотированным феррохромом на поверхностную прочность отливок из высокомарганцевой стали. Исследования проводили на специальных установках, имеющихся в лаборатории кафедры, в среде незакрепленных частиц абразива, а также в условиях действия ударных нагрузок в соответствии с существующими ГОСТами. Выявили, что в реальных условиях отливки из этой стали работают в условиях как абразивного, так и ударно-абразивного износа. Для оценки влияния легирования высокомарганцевой стали различным количеством азотированного феррохрома на процессы изнашивания провели специальные металлографические исследования зон износа. Установили, что износ существенно зависит от образующегося рельефа изнашиваемой поверхности. При абразивном изнашивании образуется относительно ровный рельеф поверхности, имеющий в некоторых случаях незначительные выступы и впадины, которые по размеру не превышают 1 мкм. В случае ударно-абразивного изнашивания рельеф образующейся поверхности более ребристый, имеет характерные для таких условий изнашивания глубокие впадины и выступы, которые могут превышать 30 мкм. Легирование азотированным феррохромом в количестве от 1,4 до 3,15 % показало, что характер износа поверхности существенно зависит от количества введенного ферросплава. Уже при достижении концентрации хрома в стали 2,15 % происходит увеличение количества карбидов. Они чаще влияют на процесс абразивного изнашивания. При износе происходит «вымывание» аустенита как менее твердой фазы. По мере протекания этого процесса идет непосредственный контакт карбидов с абразивом. В результате этого происходит разрушение карбидов марганца и их выкрашивание, после чего в аустените образуется лунка. Она является дополнительным препятствием на пути скольжения абразива по изнашиваемой поверхности, что приводит к локальной интенсификации этого процесса. Карбиды хрома в процессе контакта не разрушаются, но от внешнего абразивного воздействия выкрашиваются, в результате чего также образуется лунка. Кроме того, наличие риска, особенно вблизи карбидов, свидетельствует о протекании деформационных процессов в аустените с образованием двойников. После термообработки появляются трещины. Подобную качественную картину наблюдали и при концентрации в стали хрома > 3 %. При более высокой концентрации хрома в составе сплава наблюдается протекание сложных процессов деформационного двойникования с образованием локально разориентированных областей двойников. Проведенные исследования показали, что изнашивание высокомарганцевой стали является сложным физическим процессом, на интенсивность протекания которого оказывают значительное влияние качественные и количественные параметры микроструктуры и энергетический параметр, выраженный через значение энергии дефекта упаковки.

Ключевые слова: абразивный и ударно-абразивный износ, термическая обработка, карбиды, нитриды.

Введение

Высокомарганцевая сталь (сталь Гадфильда) — это сплав аустенитного класса, обладающий высокой износостойкостью.

В качестве материала для фасонного литья эта сталь впервые была применена в 1892 г. В России впервые эту сталь выплавляли в 1910—1912 гг.

Высокомарганцевую сталь марки 110Г13Л применяют для изготовления таких изделий, как траки для гусеничной техники, щеки дробилок, крестовины и стрелочные переводы рельсовых путей, зубья ковшей экскаваторов и др. Основными потребителями такой продукции являются горно-обога-

тельные, металлургические, машиностроительные и другие промышленные предприятия [1, 2].

Изделия из высокомарганцевой стали получают методом литья в разовые (песчаные) и металлические формы.

Структура стали 110Г13Л в литом состоянии представлена аустенитом и избыточными карбидами (Fe, Mn)₃C. Такая структура стали приводит к изменению свойств — повышается вязкость и износостойкость. При нагреве изделий до температуры 1070—1100 °С избыточные карбиды растворяются в железе. Далее литые изделия из такой стали закаливают в воде при температуре 1100 °С [3], после чего сталь имеет аустенитную структуру.

Для стали 110Г13Л температурный интервал существования чистой аустенитной структуры находится в пределах 910—1392 °С. Атом углерода в решетке γ-железа располагается в центре элементарной ячейки. Кристаллическая решетка γ-железа — гранцентрированный куб с периодом решетки $a = 0,3645$ нм.

Изделия из стали Гадфильда практически не подвергают механической обработке, так как она

* ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия;

докт. техн. наук К. Н. Вдовин, профессор, зав. кафедрой «Технологии металлургии и литейных процессов» (ТМиЛП); канд. техн. наук Н. А. Феоктистов, доцент кафедры ТМиЛП; канд. техн. наук Д. А. Горленко, старший преподаватель кафедры ТМиЛП; канд. техн. наук Н. В. Копцева, профессор кафедры ТМиЛП;

эл. почта: kn.vdovin@gmail.com

© Вдовин К. Н., Феоктистов Н. А., Горленко Д. А., Копцева Н. В., 2018

плохо обрабатывается резанием из-за наклепа поверхности в процессе резания и, как следствие этого, быстрого износа обрабатывающего инструмента.

В зарубежных странах высокомарганцевую сталь также применяют для изготовления деталей, работающих в условиях изнашивания. В России химический состав таких сталей утвержден ГОСТом, зарубежные стандарты отличаются незначительно [4]. Согласно литературным данным, среди зарубежных производителей изделий из высокомарганцевой стали нет единого мнения в вопросе выбора химического состава высокомарганцевой стали.

Сталь Гадфильда применяют в промышленности более 100 лет, и она до сих пор актуальна. Промышленные предприятия, занимающиеся выпуском изделий из этой стали, а также исследователи предпринимают постоянные попытки по увеличению эксплуатационной стойкости изделий из этой стали, а также по сокращению издержек производства таких деталей.

Свойства высокомарганцевой стали можно существенно менять, используя легирование различными элементами [5–12] и модифицирование.

Процессы изнашивания отливок из высокомарганцевой стали определяются совокупностью многочисленных факторов, например химическим составом сплава, качественными и количественными параметрами микроструктуры, механическими свойствами и др. Данные факторы являются взаимосвязанными, например изменение химического состава приводит к изменению микроструктуры отливок с дальнейшим изменением механических и эксплуатационных свойств [13–15].

Важную роль в процессе изнашивания играет вторичная фаза, которая выделяется в процессе кристаллизации расплава, а также присутствует в микроструктуре высокомарганцевой стали после проведения термической обработки. При этом в зависимости от химического состава сплава, а также тепловых условий формирования отливки, в качестве вторичной фазы выделяются включения различных типов (карбиды, нитриды, фосфидная эвтектика), а также включения одного типа могут иметь разное соотношение химических элементов, что будет определять их свойства и способность сопротивляться внешним физическим нагрузкам, в частности абразивному и ударно-абразивному изнашиванию. Исследования этих вопросов для стали, преимущественно производимой для отливок горнорудной промышленности, являются малоизученными и актуальными [16–21].

Цель работы — изучение износа поверхности отливок, изготовленных из высокомарганцевой стали, легированной азотированным феррохромом.

Материалы и методы исследований

Для изучения механизмов изнашивания отливок из высокомарганцевой стали, легированной азотированным феррохромом, проводили металлографические исследования поверхностей износа в различных условиях эксплуатации. Проведение этих исследований в литом и термообработанном состоянии позволило оценить влияние термической обработки на износостойкость отливок из высокомарганцевой стали в различных условиях эксплуатации, а также определить роль включений вторичной фазы в этих процессах. Исследования проведены на теплотах, вырезанных из очагов абразивного и ударно-абразивного износа экспериментальных отливок после проведения их испытаний.

Выплавку опытных сплавов произвели в литейной лаборатории ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова» в индукционных печах с основной футеровкой емкостью 60 и 2 кг. Химический состав стали 110Г13Л (ГОСТ 977-78), % (масс.): 0,9–1,5 С; 11,5–15 Mn; 0,3–1 Si; ≤ 0,05 S; ≤ 0,12 P; ≤ 1 Cr; ≤ 1 Ni.

Раскисление экспериментальных сплавов алюминием марки АВ 97 (ГОСТ 295-79) осуществляли в ковше.

Подготовленный расплав заливали в сухие и сырые песчано-глинистые формы (ПГФ) и кокиль.

Химический состав азотированного феррохрома марки ФХН-10, % (масс.): 66,2 Cr; 0,06 С; 0,72 Si; 0,003 P; 0,004 S; 0,09 Al; 11,1 N.

Испытания на износостойкость проводили на образцах размерами 35×35×10 мм. Образец прижимали с усилием $44,1 \pm 0,25$ Н к резиновому ролику, который вращался со скоростью 60 ± 2 об/мин и перемещал абразивные частицы по поверхности образца. В качестве эталона использовали сталь 45, в качестве абразива — электрокорунд зернистостью 0,16 мм по ГОСТу 3647-80.

Для оценки ударно-абразивного вида изнашивания применяли установку, работающую по принципу принудительного многократного соударения образца с контрообразцом, между поверхностями которых в момент соударения подается слой абразива из дозирующего устройства.

Износ образцов определяли взвешиванием их с погрешностью не более 0,0002 г до и после испытаний.

Химический состав металла отливок определяли на оптико-эмиссионном спектрометре МАХх компании СРЕТРО.

Микроструктуру образцов изучали на оптическом микроскопе Meiji при помощи программы Ticsomet Standart Pro по ГОСТу 5639-82. Приготовление шлифа проводили с использованием запрессовки образцов в смолу Transoptic на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии

пробоподготовки компании Vueschler. Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергали травлению в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом.

Растровый электронно-микроскопный анализ осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LV при ускоряющем напряжении 20 кВ. Микрорентгено-спектральный анализ (МРСА) проведен с использованием специальной приставки к сканирующему микроскопу системы INCA Energy (исследования выполнены в ЦКП НИИ наносталей при ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова»). Рентгеноструктурный анализ проведен на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000, материал анода рентгеновской трубки — хром; напряжение — 40 кВ, сила тока — 30 мА.

Результаты исследований и их обсуждение

В реальных условиях отливки из высокомарганцевой стали работают в условиях как абразивного, так и ударно-абразивного износа. Для оценки влияния легирования высокомарганцевой стали различным количеством азотированного феррохрома (1,4; 2,15 и 3,15 %) на процессы изнашивания провели металлографические исследования зон износа, которые были вырезаны из экспериментальных отливок, легированных различным количеством хрома (рис. 1–3).

При изучении на образцах условий изнашивания (наличие удара, свободное скольжение абразива по изнашиваемой поверхности) выявили, что износ существенно зависит от образующегося рельефа изнашиваемой поверхности. При абразивном изнашивании образуется относительно ровный рельеф поверхности, имеющий в некоторых случаях незначительные выступы и впадины, которые по размеру не превышают 1 мкм.

В случае ударно-абразивного изнашивания рельеф образующейся поверхности более ребристый. Он имеет характерные для таких условий изнашивания глубокие впадины и выступы, которые в глубину и высоту могут превышать 30 мкм. Формирование рельефа поверхности изнашивания может происходить от непосредственного воздействия абразива — микрорезания, а также в результате удаления включений вторичных фаз, неметаллических включений, которые, покидая микроструктуру сплава, оставляют после себя «посадочное место», превращающееся после этого во впадину.

Установили, что микроструктура в исследуемой стали в литом

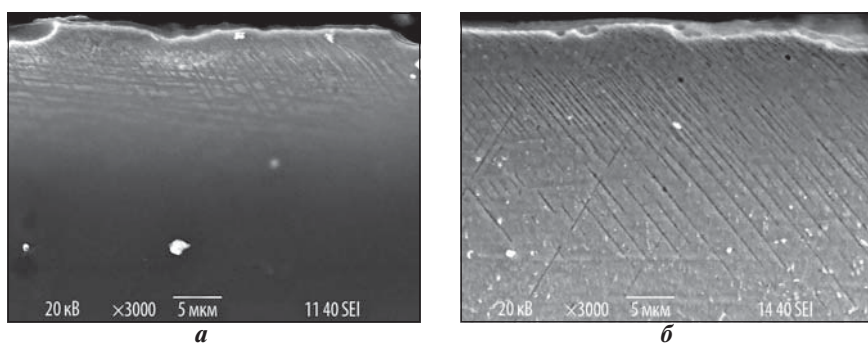


Рис. 1. Топография поверхности износа отливок из высокомарганцевой стали в литом (а) и термообработанном (б) состояниях с содержанием 1,4 % Cr (скорость охлаждения сплава 8,9 °С/с)

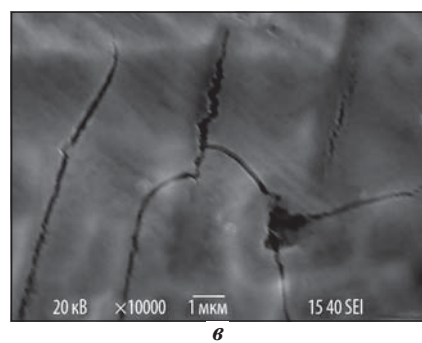
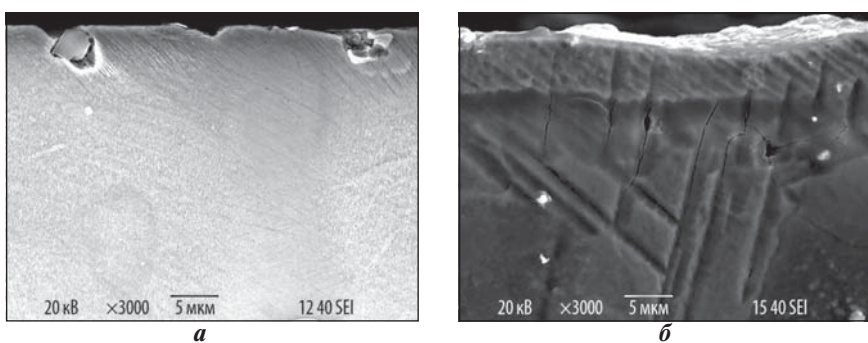


Рис. 2. Микроструктура изношенной поверхности высокомарганцевой стали в литом (а) и термообработанном (б, в) состояниях при содержании в сплаве 2,15 % Cr

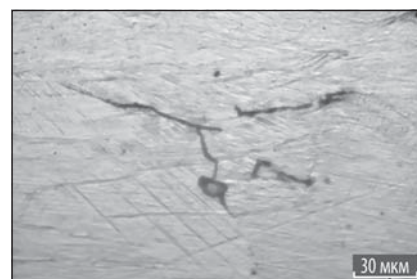


Рис. 3. Трещина в слоях аустенита, образовавшаяся в процессе ударно-абразивного изнашивания отливок из высокомарганцевой стали с содержанием 3,15 % Cr

состоянии представлена аустенитом, карбидами марганца, фосфидной эвтектикой, а также при ее легировании — карбидами хрома. В процессе абразивного и ударно-абразивного изнашивания вторичная фаза (карбиды) играет важную, но не всегда полезную роль.

При содержании в высокомарганцевой стали <1,5 % Сг выделяется незначительное количество карбидов хрома, в зависимости от скорости охлаждения сплава — от 0,07 до 0,78 % (см. рис. 1). Поэтому в исследуемых зонах изношенных поверхностей карбиды практически не встречаются. Это характерно для отливок как в литом состоянии, так и после проведения термической обработки. В этом случае сопротивление абразивному изнашиванию отливок из высокомарганцевой стали осуществляется за счет процессов деформационного двойникования независимо от скорости охлаждения при формировании отливок в литейной форме (см. рис. 1).

При достижении концентрации хрома в составе высокомарганцевой стали 2,15 % (см. рис. 2) происходит увеличение количества карбидов до 0,27–0,80 %. Металлографическим исследованием установлено, что чаще они встречаются на поверхности износа и, как следствие, влияют на процесс абразивного изнашивания. Установили, что происходит прежде всего «вымывание» аустенита как менее твердой фазы. В ходе протекания этого процесса идет непосредственный контакт карбидов с абразивом, в результате чего происходит разрушение карбидов марганца, их выкрашивание и образование в аустените лунки (см. рис. 2, а).

Такая лунка является дополнительным препятствием на пути скольжения абразива по изнашиваемой поверхности, что приводит к локальной интенсификации этого процесса. Карбиды хрома в процессе контакта не разрушаются, но от внешнего абразивного воздействия выкрашиваются, в результате чего также образуется лунка. Кроме того, наличие рисок, особенно вблизи карбидов, свидетельствует о протекании деформационных процессов в аустените с образованием двойников. После термообработки появляются трещины (см. рис. 2, б, в). Подобная качественная картина наблюдается и при более высокой концентрации хрома (>3 %) в высокомарганцевой стали [20] (см. рис. 3).

После термической обработки количество карбидной фазы умень-

шается, в результате чего повышается степень легированности аустенита, а механизм изнашивания отливок заключается в формировании упрочненного слоя, поверхность которого постепенно «вымывается» абразивом в результате микрорезания. Упрочненный слой формируется в результате протекания процессов деформационного двойникования. Такая картина характерна для отливок из высокомарганцевой стали, содержащей ≤2 % Сг. При содержании ≥2% Сг наблюдается растрескивание упрочненного слоя (см. рис. 3, б, в). При этом трещины преимущественно находятся на границах деформационных двойников. Наличие трещин приводит к вырыванию отдельных кусков аустенита, что способствует снижению износостойкости отливок [20].

При более высокой концентрации хрома в составе сплава наблюдается протекание сложных процессов деформационного двойникования с образованием локально разориентированных областей двойников, имеющих размер от 3 до 10 мкм (рис. 4).

При ударно-абразивном изнашивании экспериментальных образцов в литом состоянии, как и в случае абразивного изнашивания, карбиды марганца разрушаются, находясь в глубине слоев

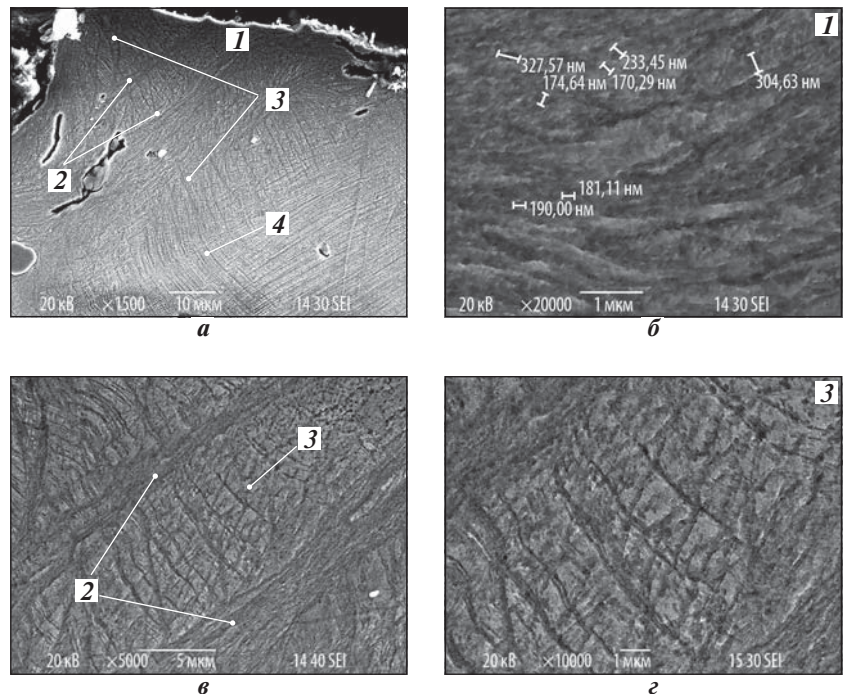


Рис. 4. Поверхность высокомарганцевой стали после ударно-абразивного изнашивания:

- а — структура упрочненного слоя высокомарганцевой стали; б — ультрамелкозернистый слой; в — область чередующихся слоев с деформационным двойникованием и мартенситом; г — слой мартенсита; 1 — слой мартенсита; 2 — переуплотненный слой деформационных двойников; 3 — слой мартенсита; 4 — слой деформационных двойников с нормальным уплотнением

аустенита над очагом износа. Разрушение происходит из-за пластической деформации твердого раствора. Образующиеся при этом лунки деформируются, приобретая продолговатую вытянутую форму. Карбиды хрома не разрушаются, а после приближения к очагу изнашивания выпадают из своих посадочных мест (см. рис. 4).

При изучении микроструктуры поверхности износа на более высоких увеличениях установили, что механизм формирования упрочненного слоя в отливках из высокомарганцевой стали при ударно-абразивном изнашивании существенно отличается от механизма, реализующегося при абразивном изнашивании. Рабочая поверхность, полученная в ходе ударно-абразивного изнашивания, представлена различными видами структур, чередующихся друг с другом по мере удаления от очага износа (см. рис. 4, а) [20].

Первый слой, непосредственно контактирующий с абразивом, имеет ультрамелкозернистую структуру (см. рис. 4, б). Его средняя толщина не превышает 3 мкм, а размер зерна изменяется от 170 до 330 нм. Образование такой структуры обусловлено многократным протеканием деформационных процессов в поверхностных слоях сплава, находящихся в непосредственном контакте с абразивом при наличии динамических нагрузок.

После слоя, имеющего ультрамелкозернистую структуру, располагается переуплотненный слой, образовавшийся в результате деформационного двойникования. Его толщина в разных участках изношенной поверхности изменяется от 3 до 7 мкм. Переуплотненный слой сменяется слоем мартенсита, имеющего характерное игольчатое строение (см. рис. 4, в). Толщина слоя мартенсита, залегающего между двумя переуплотненными слоями деформационных двойников, составляет от 10 до 15 мкм. При этом слои чередуются, образуя слоистую структуру, в которой находятся от 2 до 5 каждого из слоев. Наличие мартенсита (см. рис. 4, г) в исследуемой микроструктуре обуславливает формирование переуплотненных слоев. Изначально происходит образование слоев деформационных двойников, после чего в некоторой области поверхности износа протекает локальное мартенситное превращение, для которого характерно увеличение удельного объема. В результате происходит уплотнение соседних, более податливых слоев аустенита.

Упрочненный слой заканчивается областью деформационных двойников с нормальным уплотнением (см. рис. 4, а), которая граничит с недеформированным аустенитом. Толщина этого слоя обычно не превышает 10 мкм.

В ходе ударно-абразивного изнашивания происходит выкрашивание поверхностного слоя, в результате этого идет постепенная регенерация упроч-

ненного слоя в глубь стенки изнашиваемой отливки, изготовленной из высокомарганцевой стали.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что изнашивание высокомарганцевой стали в среде незакрепленных частиц абразива, а также в условиях действия ударных нагрузок, является сложным физическим процессом, на интенсивность протекания которого оказывают значительное влияние качественные и количественные параметры микроструктуры, а также энергетический параметр, выраженный через значение энергии дефекта упаковки.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10020). **ЧМ**

Библиографический список

1. Сеницкий Е. В., Нефедьев А. А., Ахметова А. А. и др. Обзор результатов исследований, направленных на улучшение свойств отливок из высокомарганцевой стали // Теория и технология металлургического производства. 2016. № 2(19). С. 42–57.
2. Давыдов Н. Г. Высокомарганцевая сталь. — М.: Металлургия, 1979. — 176 с.
3. Чуманов И. В., Порсев М. А. О влиянии химического состава металла на режим термической обработки отливок из стали марки 110Г13Л // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2012. № 39. С. 59–63.
4. Чернышев Е. А. Литейные сплавы и их зарубежные аналоги: справочник. — М.: Машиностроение, 2006. — 336 с.
5. Крещановский Н. С., Ладыженский Б. Н., Хорин Я. Д. и др. Выплавка стали и производство стальных отливок / Труды ЦНИИТМАШ. Вып. 13. — М.: Изд-во ЦНИИТМАШ, 1960. — С. 77–82.
6. Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др. Производство стальных отливок: учебник для вузов. — М.: МИСиС, 2005. — 351 с.
7. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. — Челябинск: Компания НПП, 2006. — 423 с.
8. Штиков В. С., Гедеревич Н. А., Шерстюк А. А., Курбатов М. И. Влияние титана на газонасыщенность, поверхностные свойства и качество высокомарганцевой стали // Технология и организация производства. 1971. № 3. С. 57–58.
9. Nasajpour A., Kokabi A. H., Davami P., Nikzad S. Effect of molybdenum on mechanical and abrasive wear properties of coating of as weld Hadfield steel with flux-cored gas tungsten arc welding // Journal of Alloys and Compounds. 2016. Vol. 659. P. 262–269.
10. Mejia I., Bedolla-Jacuinde A., Pablo J. R. Sliding wear behavior of a high — Mn austenitic twinning induced plasticity (TWIP) steel microalloyed with Nb // Wear. 2013. Vol. 301, Iss. 1–2. P. 590–597. DOI: 10.1016/j.wear.2013.01.054.
11. Лякишев Н. П., Тулин Н. А., Плинер Ю. Л. Легирующие сплавы и стали с ниобием. — М.: Металлургия, 1981. — 192 с.
12. Vdovin K. N., Gorlenko D. A., Feoktistov N. A., Dubrovin V. K. Study of the effect of complex alloying of high-manganese steel by Ti–Ca–N alloying of composition on its microstructure, mechanical and operating properties // Cis Iron and Steel Review. 2017. Vol. 14. P. 17–23.
13. Мирзаев Д. А., Корягин Ю. Д., Окишев К. Ю. Влияние металлургических факторов на механические свойства и износостойкость литых марганцовистых сталей // Известия Челябинского Научного Центра. 1999. № 3. С. 18–22.
14. Gorlenko D., Vdovin K., Feoktistov N. Mechanisms of cast structure and stressed state formation in Hadfield steel // China Foundry. 2016. Vol. 13, Iss. 6. P. 433–442. DOI: 10.1007/s41230-016-6105-8.
15. Qichuan J., Zhenming H., Donghuan C., Shoushi W., Jiulin Y. Abrasion-resistant as-cast manganese steel with nodular carbide modified by calcium // Journal of Materials Science Letters. 1990. Vol. 9, Iss. 5. P. 616–617. DOI: 10.1007/BF00725896.
16. Vdovin K. N., Gorlenko D. A., Feoktistov N. A., Nikitenko J. A. Investigation of microstructure of high-manganese steel, modified by ultra-dispersed powders, on the base of compounds of refractory metals // Cis Iron and Steel Review. 2017. Vol. 13. P. 34–40.
17. Atabaki M. M., Jafari S., Abdollah-Pour H. Abrasive wear behavior of high chromium cast iron and Hadfield steel — A comparison //

Journal of Iron and Steel Research International. 2012. Vol. 19, Iss. 4. P. 43–50. DOI: 10.1016/S1006-706X(12)60086-7.

18. Petrov Y. N., Gavriljuk V. G., Berns H., Schmalt F. Surface structure of stainless and Hadfield steel after impact wear // *Wear*. 2006. Vol. 260, Iss. 6. P. 687–691. DOI: 10.1016/j.wear.2005.04.009.
19. Yan W., Fang L., Zheng Zh., Sun Kun, Xu Y. Effect of surface nanocrystallization on abrasive wear properties in Hadfield steel // *Tribology International*. 2009. Vol. 42, Iss. 5. P. 634–641. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.08.012.

20. Колокольцев В. М., Вдовин К. Н., Чернов В. П., Феоктистов Н. А., Горленко Д. А. Исследование механических и эксплуатационных свойств высокомарганцевой стали, легированной азотированным феррохромом // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2016. № 3. С. 46–54.
21. Бочков В. С. Повышение износостойкости наклепом футеровок шаровых мельниц при проведении их технического обслуживания: дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2014. — 119 с.

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 48–53

WEAR OF HIGH-MANGANESE STEEL CASTINGS

- K. N. Vdovin**¹, Dr. Eng., Prof., Head of the chair of metallurgy and casting processes
N. A. Feoktistov¹, Cand. Eng., Associate Prof., Chair of metallurgy and casting processes
D. A. Gorlenko¹, Cand. Eng., Senior lecturer, Chair of metallurgy and casting processes
N. V. Koptseva¹, Cand. Eng., Prof., Chair of metallurgy and casting processes

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

E-mail: kn.vdovin@gmail.com

Abstract: The paper considers the materials on the use of high-manganese steel in the industry, shows the products that are most often used in the mining industry. Modern methods of studying abrasive and shock-abrasive wear resistance of castings and the methods of heat treatment of Hadfield steel are presented. The alloying elements used to improve the properties of high-manganese steels are considered, and modern ideas about the structure of these steels, which in the cast state consists of austenite and excess carbides, are given. The influence of alloying with nitrided ferrochrome on the surface strength of castings of their high-manganese steel was studied on specially cast samples. It was revealed that in real conditions castings made of this steel work in conditions of both abrasive and impact-abrasive wear. In order to assess the effect of alloying of high-manganese steel with different amounts of nitrided ferrochrome on the processes of wear, special metallographic studies of wear zones were carried out. It was found that the wear significantly depends on the resulting relief of the wear surface. During abrasive wear formed a relatively smooth surface topography, has big business, in some cases, slight projections and depressions, which are not larger than 1 μm. In case of shock-abrasive wear, the relief of the formed top is more ribbed. It has typical wear conditions such as deep depressions and protrusions that may exceed 30 microns in depth and height. Alloying by nitriding ferrochrome in the amount of 1.4 to 3.15% showed that the nature of surface wear significantly depends on the amount of introduced ferroalloy. Already with the achievement of chromium concentration in steel 2.15% there is an increase in the number of carbides. As this process proceeds, there is a direct contact of carbides with an abrasive. The result is the destruction of the carbides of manganese and chipping, after which the austenite is formed in the hole. Chromium carbides are not destroyed during the contact, but from the external abrasive action they are pulled out, resulting in a hole is also formed. Similar qualitative picture was observed at concentration of chromium > 3.0% in steel. At higher concentration of chromium in the composition of the alloy, complex processes of deformation twinning with the formation of locally disoriented areas of the twins are observed. Thus, the study showed that the wear of high-manganese steel is a complex physical process, the intensity of which has a significant impact on the qualitative and quantitative parameters of the microstructure, as well as the energy parameter expressed through the energy of the packaging defect.

The research was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation [project no. 15-19-10020]

Key words: high-manganese steels, castings, abrasive and shock-abrasive wear, heat treatment, carbides, nitrides, ferroalloys, chromium.

References:

1. Siniitsky E. V., Nefedev A. A., Akhmetova A. A. et al. Review of research results over improvement of high-manganese steel castings properties. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2016. No. 2 (19). pp. 42–57.
2. Davydov N. G. High-manganese steel. Moscow: Metallurgiya, 1979. 176 p.

3. Chumanov I. V., Porsev M. A. About effect of metal chemical composition on the heat treatment mode of 110G13L steel castings. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No. 39. pp. 59–63.
4. Chernyshev E. A. Castable alloys and their foreign analogues: reference book. Moscow: Mashinostroenie, 2006. 336 p.
5. Kreshchanovsky N. S., Ladyzhensky B. N., Khorin Ya. D. et al. Steel melting and production of steel castings. *TsNIITMASH Proceedings*. Issue 13. Moscow: Izdatelstvo TsNIITMASH, 1960. pp. 77–82.
6. Kozlov L. Ya., Kolokoltsev V. M., Vdovin K. N. et al. Production of steel castings: tutorial for institutes of higher education. Moscow: MISiS, 2005. 351 p.
7. Golubtsov V. A. Theory and practice of the out-of-furnace additives introduction in steel. Chelyabinsk: Kompaniya NPP, 2006. 423 p.
8. Shitikov V. S., Gederevich N. A., Sherstyuk A. A., Kurbatov M. I. Effect of titanium on high-manganese steel gas saturation, surface properties and quality. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva*. 1971. No. 3. pp. 57–58.
9. Nasajpour A., Kokabi A. H., Davami P., Nikzad S. Effect of molybdenum on mechanical and abrasive wear properties of coating of as weld Hadfield steel with flux-cored gas tungsten arc welding. *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Vol. 659. pp. 262–269.
10. Mejía I., Bedolla-Jacuinde A., Pablo J. R. Sliding wear behavior of a high — Mn austenitic twinning induced plasticity (TWIP) steel microalloyed with Nb. *Wear*. 2013. Vol. 301, Iss. 1–2. pp. 590–597. DOI:10.1016/j.wear.2013.01.054.
11. Lyakishev N. P., Tulin N. A., Pliner Yu. L. Nb-containing alloying metals and steels. Moscow: Metallurgiya, 1981. 192 p.
12. Vdovin K. N., Gorlenko D. A., Feoktistov N. A., Dubrov V. K. Study of the effect of complex alloying of high-manganese steel by Ti–Ca–N alloying of composition on its microstructure, mechanical and operating properties. *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 13. pp. 17–23.
13. Mirzaev D. A., Koryagin Yu. D., Okishev K. Yu. Effect of metallurgical factors on mechanical properties and wear-resistance of cast manganese steels. *Izvestiya Chelyabinskogo Nauchnogo Tsentra*. 1999. No. 3. pp. 18–22.
14. Gorlenko D., Vdovin K., Feoktistov N. Mechanisms of cast structure and stressed state formation in Hadfield steel. *China Foundry*. 2016. Vol. 13, Iss. 6. pp. 433–442. DOI: 10.1007/s41230-016-6105-8.
15. Qichuan J., Zhenming H., Donghuan C., Shoushi W., Jiulin Y. Abrasion-resistant as-cast manganese steel with nodular carbide modified by calcium. *Journal of Materials Science Letters*. 1990. Vol. 9, Iss. 5. pp. 616–617. DOI: 10.1007/BF00725896.
16. Vdovin K. N., Gorlenko D. A., Feoktistov N. A., Nikitenko O. A. Investigation of microstructure of high-manganese steel, modified by ultra-dispersed powders, on the base of compounds of refractory metals. *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 14. pp. 34–40.
17. Atabaki M. M., Jafari S., Abdollah-pour H. Abrasive wear behavior of high chromium cast iron and Hadfield steel — A comparison. *Journal of iron and steel research international*. 2012. Vol. 19, Iss. 4. pp. 43–50. DOI: 10.1016/S1006-706X(12)60086-7.
18. Petrov Y. N., Gavriljuk V. G., Berns H., Schmalt F. Surface structure of stainless and Hadfield steel after impact wear. *Wear*. 2006. Vol. 260, Iss. 6. pp. 687–691. DOI: 10.1016/j.wear.2005.04.009.
19. Yan W., Fang L., Zheng Zh., Sun Kun, Xu Y. Effect of surface nanocrystallization on abrasive wear properties in Hadfield steel. *Tribology International*. 2009. Vol. 42, Iss. 5. pp. 634–641. DOI: 10.1016/j.triboint.2008.08.012.
20. Kolokoltsev V. M., Vdovin K. N., Chernov V. P., Feoktistov N. A., Gorlenko D. A. Study of mechanical properties and operating ability of the high-manganese steel alloyed by nitrided ferrochrome. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova*. 2016. No. 3. pp. 46–54.
21. Bochkov V. S. Wear-resistance improvement by work hardening of ball mill cladding during technical maintenance: Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. St. Petersburg, 2014. 119 p.

УДК 669.412:621.047

МОДИФИЦИРОВАНИЕ, РАФИНИРОВАНИЕ И ДЕГАЗАЦИЯ РАСПЛАВОВ ЧУГУНОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В. Н. ГУЩИН, В. А. УЛЬЯНОВ, Т. Д. КУРИЛИНА, Г. А. ГЕВОРГЯН*

Представлено исследование повышения модифицирующего и рафинирующего эффекта при использовании импульсного воздействия на расплав чугуна дополнительным источником высокой интенсивности, работающим на основе электроимпульсного эффекта. Выявлена взаимосвязь интенсивности импульсного воздействия с размерами макро- и микрзерна и механическими свойствами литых заготовок. Установлено, что применение комплексного метода ввода модификаторов в условиях импульсной обработки расплава позволяет получать особо мелкие и специальные структуры с повышенными механическими свойствами.

Ключевые слова: модифицирование, рафинирование, дегазация, качество литого чугуна, механические свойства, импульсное воздействие, физическое моделирование.

Введение

В настоящее время одним из основных направлений повышения качества металлопродукции из чугуна является внепечная обработка расплавов, позволяющая осуществлять глубокое рафинирование от растворенных газов и неметаллических включений (НВ). Известно более 50 методов внепечной обработки, и исследования в этом направлении продолжают. В число таких методов входят: обработка расплавов вакуумом, продувка нейтральными газами и твердыми реагентами, электромагнитное перемешивание и др. [1, 2].

Управление структурным состоянием чугуна, а следовательно, и процессом формирования заданных свойств литья, в практике литейного производства осуществляется в результате различных внешних воздействий: модифицированием; легированием; обработкой расплава чугуна в разливочных и раздаточных ковшах ультразвуком, электромагнитным полем и др.

Модифицирование и легирование являются наиболее распространенными и универсальными методами воздействий на расплав для создания заданных свойств литого чугуна [3–9].

Модифицирование направлено на измельчение макро- и микрзерна; изменение фазовых составляющих эвтектик и перитектик введением приса-

док, образующих с этими фазами химические соединения. При этом изменяются формы, размеры и распределение НВ (интерметаллидов, карбидов, графита, оксидов, сульфидов, оксисульфидов, нитридов и фосфидов).

Среди практических методов модифицирования чугуна можно выделить следующие:

- в ковше с использованием «сэндвич-процесса» или совмещенный способ модифицирования типа «ковш-крышка»;
- в форме при in mold-процессе;
- в специальной реакционной камере (метод Флотрета) или внутрежелобное модифицирование;
- обработка чугуна модифицирующей проволокой.

Для каждого конкретного способа подачи модификатора в литейную форму и марки чугуна определяют:

- количество, состав и размеры конкретного модификатора;
- температуру расплава перед модифицированием;
- скорость его подачи или растворения.

Для конкретных условий производства устанавливают оптимальный интервал времени от момента заполнения ковша до заливки форм, так как действие модификатора рассчитано на определенное время [10].

Среди основных задач по модифицированию чугунов следует отметить следующие:

- обеспечение максимальной полноты их усвояемости и равномерности распределения по сечению отливок;
- сокращение дорогостоящих компонентов;
- увеличение времени модифицирующего эффекта.

Однако часто эффективное решение этих задач только введением добавок-модификаторов стандарт-

* *ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия:*

докт. техн. наук В. Н. Гушин, профессор кафедры «Металлургические технологии и оборудование» (МТЮ); докт. техн. наук В. А. Ульянов, профессор кафедры МТЮ; Т. Д. Курилина, старший преподаватель кафедры МТЮ; Г. А. Геворгян, аспирант кафедры МТЮ;

эл. почта: guschinvn@rambler.ru

© Гушин В. Н., Ульянов В. А., Курилина Т. Д., Геворгян Г. А., 2018

ными технологическими способами оказывается невозможным, так как распределение модификаторов в общем объеме ковша не контролируется и не управляется, а перемешивание расплава осуществляется только в результате энергии падающей струи.

Целью проведенных исследований было повышение модифицирующего и рафинирующего эффекта при использовании импульсного воздействия на расплав чугуна дополнительным источником высокой интенсивности, работающим на основе электроимпульсного эффекта [11, 12].

Материалы и методы исследования

Для исследования механизма электроимпульсной обработки (ЭИО) и отработки режимов импульсного воздействия на расплав использовали методы физического моделирования на низкотемпературных моделях [13, 14].

Для оценки эффективности внешних воздействий в промышленных условиях на качественные показатели металла проводили исследования по содержанию газов и НВ, а также микро- и макроструктурные испытания на опытных образцах, и определяли механические свойства чугуна (по ГОСТу 24648-81) [15].

Исследование газосодержания проводили методом вакуум-плавления проб чугуна при температуре до 1600 °С и остаточном давлении $1 \cdot 10^{-2}$ Па с одновременным анализом выделившихся газов. В качестве газоанализатора применяли масс-спектрометр МХ-1305.

Выпущенный из индукционной печи ИЧТ-3 жидкий чугун после замера температуры, удаления печного шлака и наведения новой шлакообразующей смеси в ковше поступал на стенд обработки упругими колебаниями.

Установка для ЭИО расплава (рис. 1) состоит из генератора импульсов тока (ГИТ) 1, механизма перемещения рычага 2, рычага 3 с закрепленным на его свободном конце электроразрядным генератором упругих колебаний (ЭРГУК) 5.

При высоковольтном разряде между положительным электродом 6 и верхней частью излучателя-волновода 7, введенного в разрядную камеру 5, заполненную водой 4, часть энергии ударной волны попадает на мембрану с волноводом, вызывая ее колебания. Развиваемая мощность 0,1–1,0 МВт в импульсе передается через упругий элемент и волновод в расплав 9 в ковше 8 при общих энергозатратах 0,5–2,5 кВт·ч/т [16, 17].

В качестве характеристики процесса наложения упругих колебаний использован динамический параметр нагружения (ДПН) V_s , Вт/кг [18].

Как показали результаты исследования на низкотемпературных моделях [13, 14], в условиях ЭИО

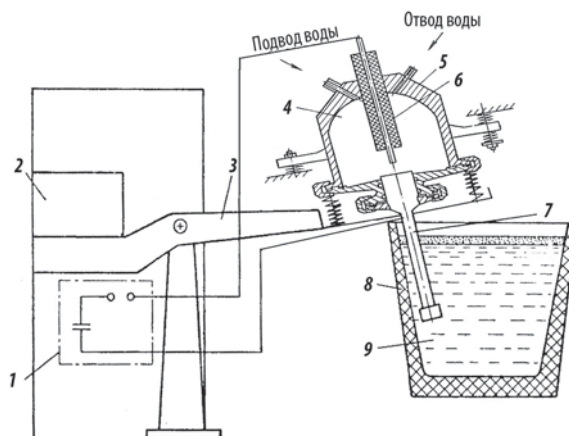


Рис. 1. Установка виброимпульсной обработки расплава

в ковше, т. е. в нелинейной физической системе, возникает группа своеобразных эффектов.

1. Наблюдается изменение состояния обрабатываемого расплава и механизмов взаимодействия отдельных его компонентов. К этой группе эффектов относятся возникновение кавитационных каверн, активизация нерастворимых примесей, изменение частот малых свободных колебаний отдельных компонентов. Все эти эффекты связаны с наличием волновой (акустической), силовой и градиентной асимметрии в системе «волновод (излучатель) — расплав — внутренняя полость ковша».

2. Эффекты вибрационного перемещения и смещения, включающие генерацию медленных течений дополнительно к существующим теплогравитационным (интенсификация гидродинамики); локализацию отдельных частиц примесей (вибрационное перемещение газовых, жидких и твердых включений).

3. Вибрологические эффекты, связанные с изменением коэффициента кажущейся (эффективной) вязкости, псевдосжижением (повышением жидкотекучести) при пониженных перегревах, интенсификацией химических реакций и коагуляцией примесей.

Электроимпульсные преобразователи в условиях металлургического производства показали высокую эффективность. При этом они либо значительно превосходят механические, электромагнитные, магнитострикционные, пневматические и другие преобразователи, либо имеют ряд преимуществ перед ними [12, 17].

Исследования по влиянию наложения упругих колебаний на равномерность распределения модифицирующих элементов, степень удаления газовых и неметаллических включений в расплавах чугунов в разливочных и раздаточных ковшах проводили с серыми (СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35) и специальными (150X15НМФТ, 200X2020НТ, 250X25НТ) чугунами.

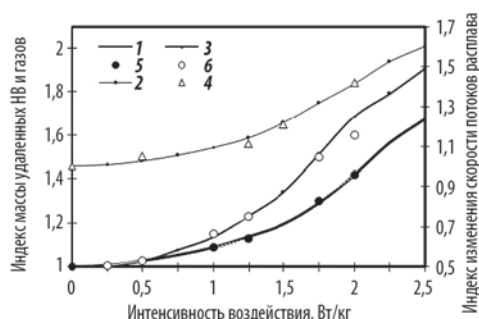


Рис. 2. Влияние интенсивности воздействия при наложении упругих колебаний на расплав в ковше на индексы изменения содержания НВ (1, 5), газов (3, 6) в расплаве и средних скоростей потоков расплава (2, 4) в ковше

Сравнение экспериментальных промышленных данных по степени удаления неметаллических включений, газов из расплава чугуна и физического моделирования по изменению средних скоростей гидротоков в ковше при различной интенсивности ЭИО приведены на **рис. 2**.

В качестве объекта исследований модифицирующего и рафинирующего эффекта ЭИО рассматривали специальные чугуны марок 150X15НМФТ, 200X20НТ и 250XНТ, которые в течение 2,5 мин подвергали наложению упругих колебаний в ковше при различных значениях ДПН (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 Вт/кг). За единичный индекс было принято значение исследованного параметра при $V_s = 0$. Температура расплавов перед выпуском из индукционной печи находилась в пределах 1500–1580 °С в зависимости от интенсивности и времени обработки.

При проведении плавов обрабатываемых упругими колебаниями расплавов чугунов проводили анализ их газового состава. Газовый анализ по водороду, приведенный в **табл. 1**, показал снижение его содержания при $V_s = 2$ Вт/кг для сплава 150X15НМФТ на 55 %, для сплава 200X20НТ — на 59 % и для сплава 250X25НТ — на 49 %. По кислороду, соответственно, получены следующие результа-

Таблица 1.
Содержание газов в расплавах чугунов и механические свойства литого металла после ЭИО

Марка чугуна	Интенсивность воздействия, Вт/кг				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
	Содержание водорода, см ³ /100 г				
150X15НМФТ	6,72	6,23	5,57	4,71	3,02
200X20НТ	4,39	4,18	3,68	2,99	1,8
250X25НТ	5,23	5,11	4,85	3,77	2,67
	Содержание кислорода, %				
150X15НМФТ	0,026	0,0215	0,0195	0,0176	0,012
200X20НТ	0,013	0,0123	0,0118	0,0091	0,0068
250X25НТ	0,033	0,0317	0,313	0,0270	0,0208
	σ_B , МПа				
150X15НМФТ	166	170	173	180	189
200X20НТ	282	294	302	314	331
250X25НТ	383	395	409	416	429
	$\sigma_{изг}$, МПа				
150X15НМФТ	477	490	499	511	523
200X20НТ	530	544	557	561	568
250X25НТ	679	695	706	711	725

ты: 54, 48 и 37 %. Максимальная скорость удаления водорода составила 0,025 см³/100 г в секунду при скорости падения температуры 0,3–0,4 °С/с.

На опытных образцах изучали влияние ЭИО на временное сопротивление растяжению σ_B и предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ (см. табл. 1). Анализ полученных данных показал, что наибольшее увеличение σ_B составило 10–12 %, а $\sigma_{изг}$ — 7–10 %.

Микроструктурные исследования проводили для сплавов 200X20НТ и 250X25НТ. На **рис. 3** представлены микроструктуры сплава 200X20НТ в термообработанном состоянии контрольных и опытных (при ЭИО) образцов. Структура в литом состоянии состоит из участков карбидной эвтектики и матричной фазы, при этом при ЭИО расплава в ковше количество карбидной эвтектики незначительно (на 3 %) увеличивается, а средний размер матричного зерна уменьшается на 21 %.

Анализ и обсуждение результатов

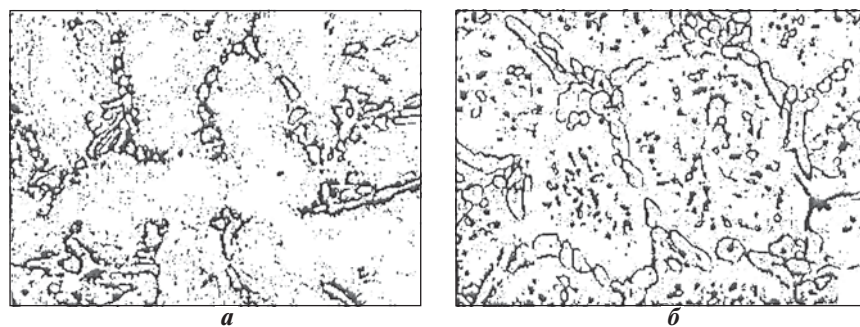


Рис. 3. Микроструктура сплава 200X20НТ в термообработанном состоянии, $\times 1000$:
а — контрольный образец; б — опытный образец

Исследования показали, что для опытного металла в литом состоянии характерно измельчение основных структурных составляющих — матричного зерна и карбидной эвтектики, наблюдается изменение морфологии карбидов. В структуре опытного металла практически отсутствуют длинные иглообразные карбиды, являющиеся концентраторами микронапряжений, которые неблагоприятно сказываются на прочностных

характеристиках сплава. Средняя твердость контрольной литой заготовки составила около 30 HRC, опытной — около 48 HRC.

Можно предположить, что в результате ЭИО расплава под действием импульсного поля давления и его взаимодействия с компонентами сплава происходит перераспределение химических элементов в жидком металле, что повышает его однородность. В дальнейшем при охлаждении однородного расплава формируются фазы, состав которых отличается от состава фаз, кристаллизующихся в обычных условиях.

В результате проведенных исследований установлено, что ЭИО чугунов способствует:

- рафинированию расплавов от неметаллических включений и газов;
- гомогенизации объемов расплава по температуре и химическому составу;
- формированию метастабильных состояний в структуре сплавов и более равномерному распределению составляющих по объему ковша;
- измельчению макро- и микроструктуры литого состояния;
- повышению механических свойств литья.

Таким образом, кроме рафинирующих эффектов по газам и неметаллическим включениям, при ЭИО достигается значительный эффект модифицирования.

Обработка упругими колебаниями расплава СЧ 20 в 3-т ковше в течение 3 мин позволила на 13–15 % осуществить измельчение зерна в литом металле. При воздействии в течение 6 мин измельчение литого зерна достигало 27 % при появлении в матрице наряду с пластинчатым графитом хлопьевидного. Размер дендритной ячейки уменьшился с 42,4 до 15,4 мкм, а жидкотекучесть расплава возросла на 6–8 %.

При применении карбида кальция в процессе ЭИО уже за 3 мин содержание серы снизилось с 0,15 % на порядок, без карбида кальция — почти в два раза.

Механические свойства сплавов СЧ 20, отлитых по обычной технологии и с электроимпульсной обработкой расплава в 3-т ковше, приведены в **табл. 2**.

В качестве комплексного применяли метод ввода модификатора в силовом поле ЭИО. Для его реализации был использован ферритно-перлитный чугун СЧ20, выплавленный в индукционной печи по стандартной технологии при вводе модификатора ФС65Ба7 в ковш при его заливке.

Масса присадок во время опытов изменялась в пределах 0,1–0,3 % массы расплава при температурах от 1400–1450 °С. Время ЭИО изменялось в пределах 1–3 мин при интенсивности воздействия до 3 Вт/кг.

Исследование макро- и микроструктуры, а также механических свойств литья проводили на

Таблица 2.
Механические свойства отливок серого чугуна без и с ЭИО расплава с частотой 3 имп/с и $V_s = 2$ Вт/кг

Время обработки, мин	σ_b , МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	Твердость по Бринеллю, НВ
Без воздействия	208–218	375–415	170–240
3	228–237	436–441	195–256
6	241–255	440–453	222–260

Таблица 3.
Значения средней прочности σ_b , твердости металла отливки НВ и их отклонений по сечениям отливки ($\Delta\sigma_b$ и $\Delta НВ$), размеров макро- и микроструктуры при комплексном модифицировании совместно с ЭИО

Параметр	Интенсивность ЭИО, Вт/кг			
	0	1	2	3
σ_b , МПа	223	228	236	244
$\Delta\sigma_b$, МПа	87	66	42	37
НВ	211	210	228	231
$\Delta НВ$	79	57	36	24
Измельчение макрозерна, %	12	21	29	35
Измельчение микроструктуры, %	3	6	11	16

корпусной детали со стенками толщиной от 8 до 82 мм.

Средние значения по прочности σ_b и твердости НВ литого металла и максимальные отклонения этих параметров ($\Delta\sigma_b$ и $\Delta НВ$) в разных сечениях детали при вводе 0,1 % модификатора при времени ЭИО в течение 2 мин, а также влияние интенсивности ЭИО расплава на макро- и микроструктуру литья приведены в **табл. 3**.

При дополнительной ЭИО достигнуто увеличение значения σ_b на 9,4 % при уменьшении отклонения этого параметра по сечениям отливки на 57,5 %. Значение средней твердости металла увеличилось на 9,5 % при уменьшении отклонения этого параметра по сечениям отливки на 69,6 %.

Модифицирующий эффект от ввода такого количества модификатора без ЭИО в полной мере сохраняется не более 10–11 мин, а при ЭИО в течение 2 мин при $V_s = 3$ Вт/кг увеличивается до 17–19 мин, т. е. на 70 %.

В отношении макро- и микроструктуры отмечено устойчивое измельчение структур при всех режимах ЭИО с модификаторами и без них.

Выводы

Применение комплексного метода ввода модификаторов при ЭИО позволяет:

- усилить эффект, получаемый при использовании одиночного модификатора, что связано с зарождением центров кристаллизации на нерастворимых примесях;
- обеспечить более равномерное его распределения по объему жидкой ванны, что приводит

к существенному выравниванию механических свойств по сечениям литого металла;

— свести к минимуму содержание модификатора, что облегчает выполнение условий ограничения состава сплава по примесям;

— получать особо мелкие и специальные структуры при измельчении макро- и микроструктуры литья;

— усиливать и продлевать по времени модифицирующий эффект. **ЧМ**

Библиографический список

1. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Технологии современной металлургии. — М.: Новые технологии, 2004. — 782 с.
2. Vondrak V., Hampl J., Hanus A. Metallurgy of cast irons. Out-of-furnace processing of molten cast iron. — Ostrava: Technical University of Ostrava, 2014. — 144 p.
3. Олсен С. О., Скаланд Т., Хартунг К. Модифицирование серых и высокопрочных чугунов. Сравнение центров кристаллизации графита и некоторые практические рекомендации по модифицированию // Литейщик России. 2011. № 2. С. 29–34.
4. Wei X., Song Y., Liu B., Liu H., Cheng X., Lu C. Effect of RE compound modification treatment on microstructures and properties of modified infinite chilled cast iron roll // Chinese Rare Earths. 2014. Vol. 35, Iss. 4. P. 25–29.
5. Xiaohui Z., Jinzhi L., Jiandong X., Shengqiang M. Effect of cerium modification on microstructure and properties of hypereutectic high chromium cast iron // Materials Science and Engineering. 2014. Vol. 603, Iss. 5. P. 98–103.
6. Панов А. Г., Гуртовой Д. А. Практика обработки карбонатами ЩЗМ расплавов дуговой плавки при изготовлении отливок из высокопрочного чугуна // Литейщик России. 2012. № 8. С. 25–27.

7. Слuzов В. К., Седунов В. К., Коровин В. А. Прогрессивная технология модифицирования высокопрочного чугуна // Черные металлы. 2014. № 11. С. 15–18.
8. Коровин В. А., Леушин И. О., Героцкий В. А. Совершенствование процесса модифицирования высокопрочного чугуна // Черные металлы. 2009. № 7. С. 6–7.
9. Бестужев А. Н., Бестужев Н. И. Тенденции развития технологии модифицирования высококачественных чугунов // Металлургия машиностроения. 2017. № 1. С. 2–8.
10. Зенкин Р. Н. О влиянии продолжительности модифицирующего эффекта на механические характеристики высокопрочного чугуна // Литейное производство. 2016. № 11. С. 2–16.
11. Ульянов В. А. и др. Внепечная обработка и разливка стали. — Н. Новгород: НГТУ, 2001. — 129 с.
12. Балан С. А., Ульянов В. А., Шигин В. Е. Виброимпульсное воздействие на расплавы чугунов // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2015. № 3. С. 243–247.
13. Гуцин В. Н., Ульянов В. А., Васильев В. А. Математическое и физическое моделирование теплофизических процессов в металлургии. — Н. Новгород: НГТУ, 2014. — 155 с.
14. Ульянов В. А., Сивков В. А., Гуцин В. Н. Физическое моделирование в области системного анализа металлургических объектов. — Н. Новгород: НГТУ, 2014. — 317 с.
15. Чайкин В. А., Кураков Ю. Г., Чайкин А. В. Повышение механических свойств серых чугунов // Литейное производство. 2002. № 7. С. 9–11.
16. Ульянов В. А., Гуцин В. Н., Китаев Е. М. Электроимпульсная обработка железоуглеродистых расплавов в ковшах // Металлы. 1999. № 5. С. 16–18.
17. Цуркин В. Н., Синчук А. В. Термодинамический анализ внешнего электрогидроимпульсного воздействия на состояние расплава перед разливкой и кристаллизацию металлов // Процессы литья. 2004. № 1. С. 6–9.
18. Сивков В. Л., Ульянов В. А., Гуцин В. Н. Внепечная обработка металлических расплавов в раздаточных и разливочных ковшах. — Н. Новгород: НГТУ, 2009. — 192 с.

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 54–59

MODIFYING, REFINING AND DEGASSING OF CAST IRON MELTS THROUGH IMPULSE ACTION

V. N. Gushchin¹, Dr. Eng., Prof., Chair “Metallurgical technologies and equipment”

V. A. Ulyanov¹, Dr. Eng., Prof., Chair “Metallurgical technologies and equipment”

T. D. Kurilina¹, Senior lecturer, Chair “Metallurgical technologies and equipment”

G. A. Gevorgyan¹, Post-graduate, Chair “Metallurgical technologies and equipment”

¹ Nizhny Novgorod State Technical University (Nizhniy Novgorod, Russia)

E-mail: gushchinvn@rambler.ru

Abstract: The article investigates the modifying and refining effect intensification using a pulsed effect on the cast iron melt through an additional high-intensity electropulse-based source. The correlation between the impulse action intensity, the macro- and micrometer dimensions of grains, and mechanical properties of a cast billet has been established. It has been found that using a complex method for modifiers introduction under conditions of melt impulse treatment enables to obtain especially fine and special structures with increased mechanical properties.

Key words: modification, refining, degassing, cast iron quality, mechanical properties, impulse action, physical modeling.

References:

1. Efimov V. A., Eldarkhanov A. S. Technology of the state-of-the-art

metallurgy. Moscow: Novye tekhnologii, 2004. 782 p.

2. Vondrak V., Hampl J., Hanus A. Metallurgy of cast irons. Out-of-furnace processing of molten cast iron. Ostrava: Technical University of Ostrava, 2014. 144 p.
3. Olsen S. O., Skaland T., Khartung K. Modification of gray and high-strength cast irons. Comparison of graphite crystallization centers and some practical recommendations in respect to modification. *Liteyshchik Rossii*. 2011. No. 2. pp. 29–34.
4. Wei X., Song Y., Liu B., Liu H., Cheng X., Lu C. Effect of RE compound modification treatment on microstructures and properties of modified infinite chilled cast iron roll. *Chinese Rare Earths*. 2014. Vol. 35, Iss. 4. pp. 25–29.
5. Xiaohui Z., Jinzhi L., Jiandong X., Shengqiang M. Effect of cerium modification on microstructure and properties of hypereutectic high chromium cast iron. *Materials Science and Engineering*. 2014. Vol. 603, Iss. 5. pp. 98–103.
6. Panov A. G., Gurtovoy D. A. Practice of arc furnace melts treatment by alkaline-earth metal carbonates during production of high-strength iron castings. *Liteyshchik Rossii*. 2012. No. 8. pp. 25–27.
7. Sluzov P. A., Sedunov V. K., Korovin V. A. Progressive technology of modification of high-strength iron. *Chernye metally*. 2014. No. 11. pp. 15–18.
8. Korovin V. A., Leushin I. O., Gerotsky V. A. Improvement of the process of modifying high strength iron. *Chernye metally*. 2009. No. 7. pp. 6–7.
9. Bestuzhev A. N., Bestuzhev N. I. Trends of development of high-quality iron modification technology. *Metallurgiya mashinostroeniya*. 2017. No. 1. pp. 2–8.
10. Zenkin R. N. About influence of modification effect duration on

- mechanical characteristics of high-strength iron. *Liteynoe proizvodstvo*. 2016. No. 11. pp. 2–16.
11. Ulyanov V. A. et al. Steel secondary treatment and casting. Nizhny Novgorod: NGTU, 2001. 129 p.
 12. Balan S. A., Ulyanov V. A., Shigin V. E. Vibro-pulse action on iron melts. *R. E. Alexeev NGTU Proceedings*. 2015. No. 3. pp. 243–247.
 13. Gushchin V. N., Ulyanov V. A., Vasilev V. A. Mathematical and physical modeling of thermal-physic processes in metallurgy. Nizhny Novgorod: NGTU, 2014. 155 p.
 14. Ulyanov V. A., Sivkov V. A., Gushchin V. N. Physical modeling of metallurgical objects in the field of system analysis. Nizhny Novgorod: NGTU, 2014. 317 p.
 15. Chaykin V. A., Kurakov Yu. G., Chaykin A. B. Improvement of gray iron mechanical properties. *Liteynoe proizvodstvo*. 2002. No. 7. pp. 9–11.
 16. Ulyanov V. A., Gushchin V. N., Kataev E. M. Electric pulse treatment of iron-carbon alloys in ladles. *Metally*. 1999. No. 5. pp. 16–18.
 17. Tsurkin V. N., Sinchuk A. V. Thermodynamic analysis of external electric and hydraulic pulse action on the melt condition before casting and metal recrystallization. *Protsessy litya*. 2004. No.1. pp. 6–9.
 18. Sivkov V. L., Ulyanov V. A., Gushchin V. N. Secondary treatment of metal melts in bull and casting ladles. Nizhny Novgorod: NGTU, 2009. 192 p.

**XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС СТАЛЕПЛАВИЛЬЩИКОВ
И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ МЕТАЛЛОВ
15–20 ОКТЯБРЯ 2018 г., г. ТУЛА**



Межрегиональная общественная организация «Ассоциация сталеплавильщиков» и Промышленно-металлургический холдинг проводят в г. Туле XV Международный конгресс сталеплавильщиков и производителей металлов ISCON-2018, приуроченный к 100-летию Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» и 380-летию российской металлургии.

Конгресс пройдет на базе предприятий ПАО «Тулачермет» и АО «Полема» с 15 по 20 октября 2018 г.

Девиз конгресса — **«Сталь: конструкционный материал современности»**.

На конгрессе будут работать следующие секции:

1. Производство стали и спецэлектрометаллургия (руководитель А. Е. Семин).
2. Ковшовая обработка чугуна и стали (руководитель К. В. Григорович).
3. Процессы кристаллизации и разлива стали (руководитель С. И. Шахов).
4. Энергоэффективность, ресурсосбережение и экология металлургического производства (руководитель Л. Н. Шевелев).
5. Порошковая и гранульная металлургия. Аддитивные технологии (руководитель Л. И. Леонтьев).

В программе конгресса предусмотрены следующие мероприятия:

- лекция в рамках повышения квалификации специалистов;
- конкурс докладов молодых ученых;
- презентация новейшего металлургического оборудования и услуг;
- знакомство с производством ПАО «Тулачермет» и АО «Полема»;
- экскурсия на ООО «Тулачермет-Сталь».

Вся информация об условиях участия в работе конгресса, регистрации участников конгресса, организационном взносе, подготовке текстов докладов и издании трудов конгресса будет размещена на сайте <http://steelcongress.ru>.

Контакты для связи в г. Москве: **+7-963-971-59-46, steelcongress@gmail.com**.

Для формирования Программы конгресса необходимо направить до 01.06.2018 г. в Оргкомитет по эл. почте **iscon-2018@mail.ru; steelcongress@gmail.com** следующую информацию: наименование докладов с указанием авторов, докладчиков, организации и электронного адреса докладчика.

Статьи в полном виде для сборника трудов конгресса необходимо прислать в электронном виде на указанные электронные адреса до 01 августа 2018 г.

Сборник трудов будет издан до начала работы конгресса и роздан во время конгресса всем участникам, оплатившим организационный взнос.

Реклама

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МАСЛОЕМКОСТИ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТОЛЩИНУ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ В ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Д. В. ТЕРЕНТЬЕВ, Н. Н. ОГАРКОВ, С. И. ПЛАТОВ, А. В. КОЗЛОВ*

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований толщины смазочной пленки в узлах трения. Предложено учитывать не только параметры и условия эксплуатации данных узлов, но и маслоемкость трущихся шероховатых поверхностей, которая оказывает существенное влияние на нагнетающую способность смазочного материала в зону контакта, а соответственно, на формирование смазочного слоя. Адекватность полученной зависимости по определению толщины масляной пленки между контактирующими поверхностями узла трения была подтверждена экспериментальными исследованиями. Для физического моделирования формирования смазочной пленки в тяжело нагруженной паре трения использовали пару «ролик–ролик». Исследования проводили на машине трения СМЦ-2 весовым методом с использованием аналитических весов с точностью измерения 0,0001 г. Проведенные экспериментальные исследования показали сходимость с теоретическими результатами на уровне 80–95 %, что свидетельствует об удовлетворительной адекватности математической зависимости. Результаты исследования позволяют прогнозировать режим трения, возникающий в тяжело нагруженных подшипниковых узлах и зубчатых зацеплениях металлургических агрегатов.

Ключевые слова: смазочная пленка, режим трения, смазочные материалы, узлы трения, металлургические агрегаты.

Введение

Подшипники качения и зубчатые передачи металлургических агрегатов относятся к тяжело нагруженным неконформным узлам трения (узлы с сосредоточенным контактом), в которых между формами взаимодействующих поверхностей нет никакой геометрической связи.

При проектировании тяжело нагруженных неконформных узлов трения необходимо учитывать условия их эксплуатации и трения. Наилучшие условия трения в узле достигаются при жидкостном трении или смешанном трении с максимально возможной долей жидкостного трения.

Эластогидродинамическая пленка (ЭГД-пленка) является источником жидкостного трения для тяжело нагруженных узлов трения металлургических

агрегатов. Проектирование таких узлов трения, связанных с режимом ЭГД-смазки, как подшипниковые узлы и зубчатые зацепления, требуют определения толщины смазочного слоя h_0 в контакте при их эксплуатации. Согласно известным подходам [1–9], основное влияние на толщину смазочной пленки оказывают вязкость смазочного материала, температура и скорость качения на контакте, нагрузка на единицу длины контакта. Микрорельеф контактирующих поверхностей учитывается только высотным параметром R_a без учета вида обработки при определении параметра λ , характеризующего режим трения в контакте. При этом шероховатость контактирующих поверхностей, зависящая от способа обработки, значительно влияет на нагнетающую способность смазочного материала в зону контакта трущихся поверхностей, т. е. оказывает существенное влияние на формирование смазочного слоя. В связи с этим целью проведенных исследований было установление зависимости толщины масляной пленки от режимов эксплуатации узлов трения металлургических агрегатов с учетом маслоемкости поверхности трения и экспериментальная проверка полученных результатов.

Теоретические исследования

Рассмотрим условия образования смазочной пленки с учетом условий эксплуатации, влияния

* *ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия:*

канд. техн. наук Д. В. Терентьев, доцент кафедры МиТО-ДиМ; докт. техн. наук Н. Н. Огарков, профессор кафедры МиТОДиМ; докт. техн. наук С. И. Платов, зав. кафедрой МиТОДиМ;

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск, Россия:

докт. техн. наук А. В. Козлов, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты»;

эл. почта: ktnterentyev@mail.ru

© Терентьев Д. В., Огарков Н. Н., Платов С. И., Козлов А. В., 2018

на нее шероховатых контактных поверхностей и возможных изменений свойств смазочного материала.

При оценке толщины смазочного материала рассмотрена плоская задача, для которой связь между напряжениями и деформациями определяется решением задачи Герца, при этом упругие перемещения поверхности представлены в виде суммы двух составляющих: первая из них — это перемещение границы тела, обусловленное шероховатым слоем, вторая — перемещение границы поверхности без учета ее шероховатости.

Толщину смазочного слоя h_0 с учетом компонентов, вносимую шероховатыми слоями контактирующих поверхностей, определяем по зависимости

$$h_0 = h(x)(1 + m' + m''), \quad (1)$$

где m' и m'' — относительные маслосмачиваемости контактирующих шероховатых слоев; $h(x)$ — текущее значение толщины смазочного слоя, обусловленное гладкой поверхностью.

Относительный объем впадин между выступами микрорельефа поверхностного слоя, характеризующих параметр m , определим из соотношения [10]

$$m = \left(\frac{1}{b}\right)^{1/(v-1)} + \frac{1}{v+1} \left[1 - 2\left(\frac{1}{b}\right)^{1/(v-1)}\right], \quad (2)$$

где b и v — параметры опорной кривой микрорельефа.

При использовании решения задачи Герца геометрия недеформированных тел заменена контактом упругой полуплоскости с эквивалентной геометрической фигурой. Обязательным условием при этом является сохранение в зоне моделируемого поля контакта такого же зазора в направлении главной нормали контакта и кривизны поверхности, существующего в фактическом контакте.

В такой модели эквивалентные модули упругости шероховатых слоев (E_1') и гладкой полуплоскости (E_2') определяются выражениями

$$E_1' = \frac{2E_1E_2(1-m')(1-m'')}{E_1(1-m')(1-\mu_2^2) + E_2(1-m'')(1-\mu_1^2)}; \quad (3)$$

$$E_2' = \frac{2E_1E_2}{E_1(1-\mu_2^2) + E_2(1-\mu_1^2)}, \quad (4)$$

где $E_{1,2}$ — модули упругости материалов контактирующих тел, МПа; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона материалов контактирующих тел.

Результирующий эквивалентный модуль упругости E_3 , определяющий сумму упругих деформаций контактирующих поверхностей с учетом их шероховатых слоев, составит

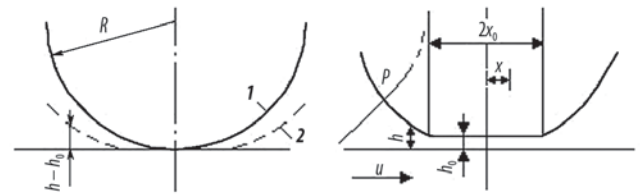


Рис. 1. Геометрия контакта поверхности без смазочного материала (а) и со смазочным материалом (б): 1 — цилиндр недеформированный; 2 — цилиндр деформированный

$$E_3 = \frac{2E_1'E_2'}{E_1' + E_2'}. \quad (5)$$

Одним из допущений при решении задачи является равенство деформации цилиндра в случае сухого контакта и в условиях введения смазочного материала в зону контакта (рис. 1).

В условиях незначительного изменения температуры и зависимости вязкости смазочного материала η от давления P в виде $\eta = \eta_0 e^{\alpha P}$ с учетом уравнения Рейнольдса и давления на границе стыка Герца получена зависимость для расчета толщины смазочной пленки при контактировании тел с шероховатыми поверхностями в виде

$$h_0 = 0,888 \cdot (1 + m' + m'') \cdot (\alpha \cdot \eta \cdot v)^{0,727} \cdot R^{0,364} \cdot \left(\frac{E_3}{W}\right)^{0,111}, \quad (6)$$

где η_0 — кинематическая вязкость при атмосферном давлении; α — пьезокоэффициент вязкости; v — скорость качения в контакте, м/с; R — эквивалентный радиус кривизны неровностей контактирующих поверхностей, определяемый соотношением $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$; W — удельная нагрузка на контакте, вызывающая соответствующие перемещения, кН/м.

Экспериментальные исследования

Для проверки адекватности полученной зависимости по определению толщины масляной пленки между контактирующими поверхностями узла трения в зависимости от их микротопографии и маслосмачиваемости были проведены экспериментальные исследования. Для физического моделирования формирования смазочной пленки в тяжело нагруженной паре трения использовали пару «ролик–ролик». Исследования проводили на машине трения СМЦ-2 весовым методом с использованием аналитических весов с точностью измерения $1 \cdot 10^{-4}$ г. Для проведения экспериментов были изготовлены три пары роликов с различной микротопографией поверхностей, полученные точением, шлифованием и полированием.

В ходе проведения экспериментов изменяли усилие прижима и частоту вращения роликов, обе-

спечивая удельную нагрузку на единицу длины контакта 15, 60 и 100 кН/м, а скорость качения на контакте — 0,5; 1,3 и 2 м/с. При этом на верхний ролик подавали смазочный материал классом вязкости 220 в количестве 0,03 г. Для каждой пары роликов проводили по пять экспериментов при соответствующих нагрузках и скоростях качения. В общей сложности было проведено 135 испытаний и замеров. Площадь смазочной пленки, образующейся в контакте, измеряли на репликах, снимаемых с поверхностей роликов с помощью наложения сетки с размером ячейки 1 мм в программе Photoshop CS6. Толщину масляной пленки h_0 определяли как отношение массы подаваемого смазочного материала $m_{см}$ к произведению его плотности ρ и площади смазочной пленки $S_{с.п}$, т. е. $h_0 = m_{см}/\rho S_{с.п}$. С учетом погрешности измерений точность вычисления h_0 составляла не ниже 90 %. В таблице представлены усредненные значения h_0 , полученные в ходе проведения экспериментов, а в скобках — соответствующие значения, рассчитанные по зависимости (6), предложенной авторами работы. Значения относительной маслосъемкости приняты согласно результатам, представленным ранее [10].

Значения толщины смазочной пленки, рассчитанные по математическим зависимостям, представленным в работах [1–4] для аналогичных режимов, значительно ниже полученных в ходе экспериментальных исследований. Такое расхождение связано с тем, что в известных уравнениях не учитывается шероховатый слой, характеризующийся определенной маслосъемкостью, которая вносит дополнительный вклад в формирование смазочной пленки.

Некоторые значения толщины масляной пленки, полученные при обобщении теоретических данных по зависимости (6) и в результате экспериментальных исследований, представлены на рис. 2–4.

Анализ представленных графиков показывает, что с увеличением нагрузки, действующей на контакт поверхностей в узлах трения, толщина смазочной пленки уменьшается, причем в области низких

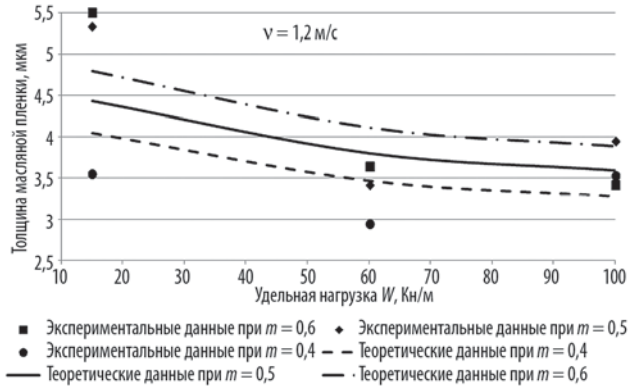


Рис. 2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований толщины смазочной пленки в зависимости от удельной нагрузки при различной маслосъемкости поверхности

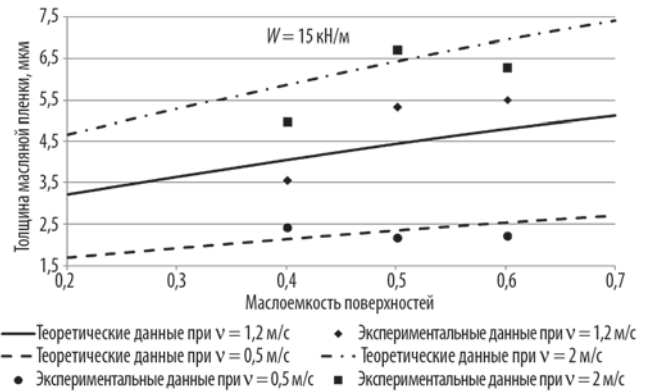


Рис. 3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований толщины смазочной пленки в зависимости от маслосъемкости поверхности при различных скоростях качения

значений нагрузок интенсивность ее изменения более заметна, чем в области повышенных нагрузок. В диапазоне изменения от 15 до 100 кН/м (т. е. в 6,7 раза), толщина смазочной пленки уменьшается в 1,23 раза.

Увеличению толщины смазочной пленки способствуют скорость относительного смещения контактирующих поверхностей и маслосъемкость их шероховатых слоев. Увеличение скорости от 0,5 до 2,0 м/с (т. е. в 4 раза) приводит к увеличению толщины смазочной пленки в среднем в 2,8 раза. При изменении относительной маслосъемкости от 0,4 до 0,6 толщина смазочной пленки увеличивается примерно в 1,6 раза.

Таким образом, наибольшее влияние на изменение толщины смазочной пленки в узлах трения оказывает параметр от-

Экспериментальные и теоретические значения толщины смазочной пленки в зоне контакта пары трения «ролик–ролик» при различной маслосъемкости поверхностей, удельной нагрузке и скоростях качения									
Вид обработки (маслосъемкость m)	Шлифование ($m = 0,6$)			Точение ($m = 0,5$)			Полирование ($m = 0,4$)		
	Скорость качения, м/с	0,5	1,2	2,0	0,5	1,2	2,0	0,5	1,2
Удельная нагрузка, кН/м	Толщина масляной пленки h_0 , мкм								
15	2,24 (2,54)	5,52 (4,80)	6,32 (6,95)	2,19 (2,35)	5,33 (4,44)	6,75 (6,43)	2,46 (2,14)	3,56 (4,04)	4,98 (5,86)
60	2,44 (2,18)	3,65 (4,11)	6,45 (5,96)	2,17 (2,01)	3,42 (3,80)	4,82 (5,51)	1,62 (1,84)	2,95 (3,47)	5,63 (5,03)
100	1,83 (2,06)	3,42 (3,89)	6,76 (5,63)	1,67 (1,90)	3,95 (3,59)	4,90 (5,21)	1,40 (1,73)	3,54 (3,28)	4,23 (4,75)

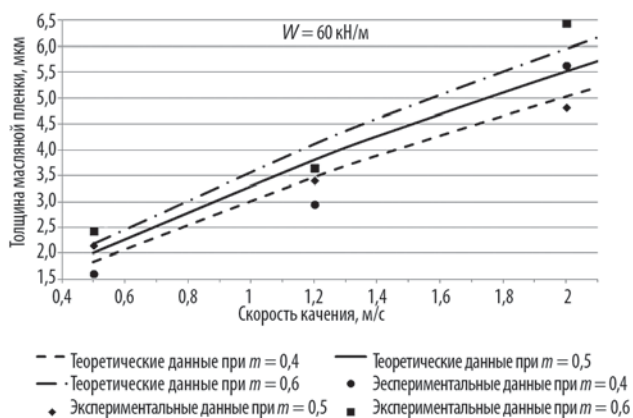


Рис. 4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований толщины смазочной пленки в зависимости от скорости качения при различной маслостойкости поверхности

носительной маслостойкости шероховатых контактирующих поверхностей.

По предложенной математической зависимости была рассчитана предполагаемая толщина смазочной пленки в зубчатых зацеплениях редукторов скиповых лебедок доменной печи. Исследования режимов эксплуатации данных редукторов частично представлены в работе [11]. Удельные нагрузки в контакте зубьев составляют порядка 80–90 кН/м, скорость качения — 1,2 м/с, относительная маслостойкость контактирующих поверхностей — 0,5. Проведенные расчеты показали, что при использовании смазочного материала с классом вязкости не ниже 220 толщина смазочной пленки достигает 5,0–6,5 мкм. Это обеспечивает режим жидкостного трения, так как параметр λ , характеризующий режим трения в контакте и определяемый отношением толщины смазочной пленки к высотным параметрам микрорельефа, в данном случае равен 3,5–4.

Заключение

Установлено, что на формирование смазочной пленки существенное влияние оказывает маслостойкость трущихся шероховатых поверхностей. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что полученная авторами зависимость позволяет рассчитать толщину смазочного слоя в узле трения при контактировании поверхностей с относительным их смещением с учетом маслостойкости шероховатых слоев. Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями составляет от 5 до 20 %, что свидетельствует об удовлетворительной адекватности математической зависимости. Результаты исследования позволяют прогнозировать режим трения, возникающий в тя-

желонагруженных подшипниковых узлах и зубчатых зацеплениях металлургических агрегатов, и на этапе проектирования систем и режимов смазывания данных механизмов [12–14] выбирать требуемые параметры смазочного материала и условия его подачи с учетом состояния шероховатых слоев трущихся поверхностей. ЧМ

Библиографический список

1. Чичинадзе А. В., Берлинер Э. М., Браун Э. Д. и др. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под общ. ред. А. В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение, 2003. — 576 с.
2. Коднир Д. С., Жильников Е. П., Байбородов Ю. И. Эластогидродинамический расчет деталей машин. — М.: Машиностроение, 1988. — 160 с.
3. Dudorov E. A., Ruzanov A. I., Zhirkin Y. V. Introducing an oil-air lubrication system at a continuous-casting machine // Steel in Translation. 2009. Vol. 39. Iss. 4. P. 351–354.
4. Жиркин Ю. В., Пузик Е. А. Аналитическо-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2010. № 4. С. 52–56.
5. Шолом В. Ю., Абрамов А. Н., Тюленев Д. Г. Влияние вязкости минеральной основы технологической смазки на триботехнические параметры в различных схемах испытаний // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 4. С. 39–41.
6. Елманов И. М., Даровской Г. В., Мостовой Г. И. Результаты измерений толщины пленки железнодорожных смазочных материалов // Тяжелое машиностроение. 2009. № 10. С. 28–30.
7. Enriquez A. H., Tanco M., Kim Jin-Kuk. Simulation-Based Process Design and Integration for the Sustainable Retrofit of Chemical Processes // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011. Vol. 50, Iss. 21. P. 12067–12079. DOI: 10.1021/ie200722z
8. Davim P., Cardoso R. Thermo-mechanical model to predict the tribological behaviour of the composite PEEK-CF30/steel pair in dry sliding using multiple regression analysis // Industrial Lubrication and Tribology. 2005. Vol. 57, Iss. 5. P. 181–186.
9. Friedrich K., Flock J., Varadi K., Neder Z. Experimental and numerical evaluation of the mechanical properties of compacted wear debris layers formed between composite and steel surfaces in sliding contact // Wear. 2001. Vol. 251. P. 1202–1212.
10. Ogarkov N. N., Platov S. I., Shemetova E. S., Terentev D. V., Nekit V. A., Samodurova M. N. Oil absorption capacity of the contact surfaces in metal-forming processes // Metallurgist. 2017. Vol. 61, Iss. 1–2. P. 58–62.
11. Терентьев Д. В., Платов С. И., Огарков Н. Н., Жиркин Ю. В. Исследование свойств смазочных материалов при эксплуатации редукторов скиповых лебедок доменных печей // Черные металлы. 2017. № 8. С. 34–37.
12. Терентьев Д. В., Платов С. И., Огарков Н. Н., Жиркин Ю. В. Методология модернизации и совершенствования условий эксплуатации тяжело нагруженных узлов металлургических агрегатов // Перспективные материалы и технологии // Материалы международного симпозиума: в 2-х ч. Часть 1. / под ред. В. В. Рубаника. — Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2017. С. 254–256.
13. Zhirkin Y. V., Puzik E. A., Filatov A. A., Sultanov N. L. Prolonging the service life of the rolling bearings of the work rolls of the 2000 tandem cold-rolling mill at the Magnitogorsk metallurgical combine // Metallurgist. 2017. Vol. 60, Iss. 11–12. P. 1180–1182.
14. Zhirkin Yu. V., Puzik E. A., Sultanov N. L. Design of heavy-duty bearings with oil-air lubrication // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36, Iss. 12. P. 1001–1003.

EFFECT OF OPERATING MODES AND CONTACT SURFACE OIL ABSORPTION ON LUBRICANT FILM THICKNESS IN HEAVY-DUTY FRICTION UNITS OF METALLURGICAL PLANTS

D. V. Terentyev¹, Cand. Eng., Associate Prof., Chair of metal forming machines and technologies

N. N. Ogarkov¹, Dr. Eng., Prof., Chair of metal forming machines and technologies

S. I. Platov¹, Dr. Eng., Prof., Head of the Chair of metal forming machines and technologies

A. V. Kozlov², Dr. Eng., Prof., Chair "Machine-building technology, machine tools"

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russia)

² South Ural State University (Chelyabinsk, Russia)

E-mail: ktnterentyev@mail.ru

Abstract: The paper presents the results of theoretical and experimental studies of the lubricating film thickness in friction units. The authors proposed to take into account not only the parameters and operating conditions of these units, but also the oil absorption of sliding rough surfaces which has a significant effect on the lubricant pumping ability in the contact zone, and, accordingly, on the lubricating layer formation. The adequacy of the obtained dependence to determine the thickness of the oil film between the friction unit contacting surfaces has been confirmed by experimental studies. A heavily loaded friction couple, a roller-roller pair, has been used for physical simulation of the lubricating film formation. The studies have been carried out using a SMTs-2 friction test machine, weight loss method, and analytical balance with measurement accuracy of 0.0001 g. The conducted experimental studies showed a convergence with theoretical results at the level of 80–95% that speaks about the satisfactory adequacy of the mathematical dependence. The results of the study enable to predict the friction mode occurring in heavily loaded bearing and gear assemblies of metallurgical plants.

Key words: lubricating film, friction mode, lubricants, metallurgical plant friction units.

References:

1. Chichinadze A. V., Berliner E. M., Braun E. D. et al. Friction, wear and lubrication (tribology and tribological engineering). Under the general edition of Chichinadze A. V. Moscow: Mashinostroenie, 2013. 576 p.
2. Kodnir D. S., Zhilnikov E. P., Bayborodov Yu. I. Elastohydrodynamic calculation of machine elements. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 160 p.

3. Dudorov E. A., Ruzanov A. I., Zhirkin Y. V. Introducing an oil-air lubrication system at a continuous-casting machine. *Steel in Translation*. 2009. Vol. 39. Iss. 4. pp. 351–354.
4. Zhirkin Yu. V., Puzik E. A. Analytical and experimental determination of elastohydrodynamic lubrication parameters in 2000 hot rolling mill work roll bearings. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova*. 2010. No. 4. pp. 52–56.
5. Sholov V. Yu., Abramov A. N., Tyulenev D. G. Influence of the tribological lubrication mineral basis viscosity on tribotechnical parameters in different schemes of testing. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmach*. 2007. No. 4. pp. 39–41.
6. Elmanov I. M., Darovskoy G. V., Mostovoy G. I. Results of measurements of the railroad lubricant film thickness. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2009. No.10. pp. 28–30.
7. Enríquez A. H., Tanco M., Kim Jin-Kuk. Simulation-Based Process Design and Integration for the Sustainable Retrofit of Chemical Processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2011. Vol. 50, Iss. 21. pp. 12067–12079. DOI: 10.1021/ie200722z
8. Davim P., Cardoso R. Thermo-mechanical model to predict the tribological behavior of the composite PEEK-CF30/steel pair in dry sliding using multiple regression analysis. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2005. Vol. 57, Iss. 5. pp. 181–186.
9. Friedrich K., Flock J., Varadi K., Neder Z. Experimental and numerical evaluation of the mechanical properties of compacted wear debris layers formed between composite and steel surfaces in sliding contact. *Wear*. 2001. Vol. 251. pp. 1202–1212.
10. Ogarkov N. N., Platov S. I., Shemetova E. S., Terentev D. V., Nekit V. A., Samodurova M. N. Oil absorption capacity of the contact surfaces in metal-forming processes. *Metallurgist*. 2017. Vol. 61, Iss. 12. pp. 58–62.
11. Terentyev D. V., Platov S. I., Ogarkov N. N., Zhirkin Yu. V. Examination of properties of lubricants during operation gear boxes of skip hoists in blast furnaces. *Chernye metally*. 2017. No. 8. pp. 34–37.
12. Terentev D. V., Platov S. I., Ogarkov N. N., Zhirkin Yu. V. The method to modernize and improve operating conditions of heavy-duty units of metallurgical plants. *Promising materials and technologies. International symposium proceedings*: in 2 parts. Part 1. Edited by V. V. Rubanik. Vitebsk: Vitebsky gosudarstvenny tekhnologicheskyy universitet, 2017. pp. 254–256.
13. Zhirkin Y. V., Puzik E. A., Filatov A. A., Sultanov N. L. Prolonging the service life of the rolling bearings of the work rolls of the 2000 tandem cold-rolling mill at the Magnitogorsk metallurgical combine. *Metallurgist*. 2017. Vol. 60, Iss. 11-12. pp. 1180–1182.
14. Zhirkin Yu. V., Puzik E. A., Sultanov N. L. Design of heavy-duty bearings with oil-air lubrication. *Russian Engineering Research*. 2016. Vol. 36, Iss. 12. pp. 1001–1003.

Чукин М. В., Голубчик Э. М., Корчунов А. Г. и др.

Адаптивные подходы к конструированию технологических процессов и управлению качеством металлопродукции.

Монография

В монографии рассмотрены подходы к конструированию многовариантных технологических процессов. Основное внимание уделено современным методам формирования свойств и адаптивного оперативного управления качеством металлопродукции в иерархически сложных технологических системах. Монография предназначена для специалистов в области разработки и совершенствования наукоемких технологических процессов и управления качеством металлопродукции, а также может быть полезна магистрантам, аспирантам и преподавателям высших учебных заведений.

ISBN: 978-5-4461-0321-8
Страницы: 464
Переплет: твердый

Издатель: Издательство "Питер"
Язык: Russian
Год издания: 2016



По вопросам приобретения книги обращайтесь:
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6,
стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.
Эл. почта: books@rudmet.ru
Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
Издательский дом

Реклама

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

О. И. БОРИСКИН, Д. И. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, Г. А. НУЖДИН, Е. И. ХУНУЗИДИ*

Оценка соответствия является доказательством того, что заданные требования к продукции, включая металлургическую продукцию, выполнены. Операции и функции оценки соответствия металлургической продукции включают выбор, планирование и подготовку действий, установление заданных требований, например в национальных стандартах. В соответствии с Концепцией развития национальной системы стандартизации РФ на период до 2020 г., стандартизация является одним из ключевых факторов, влияющих на технологическое развитие России. Среди приоритетных направлений развития стандартизации для формирования устойчивого вектора развития российской экономики находятся атомная промышленность, тяжелое и транспортное машиностроение, авиационная и судостроительная отрасли промышленности. Эти отрасли немыслимы без металлургической продукции. Новые разработки, в том числе новые марки сталей и сплавов, должны завершаться доказательством того, что заданные требования выполнены. А заданные требования чаще всего устанавливаются в документах по стандартизации. В целях улучшения металлургической продукции проанализировали метрологическое обеспечение оценки ее соответствия в национальных стандартах, введенных в действие за последние три года. Для проведения анализа отобраны 242 стандарта, относящихся к металлургической продукции из металлов и сплавов: впервые введенные в действие, пересмотренные и действующие, с принятыми изменениями с датой введения после 01.01.2015 г. Установлено, что распределение регламентированных требований к характеристикам объекта оценки соответствия за три последние года достаточно равномерное: геометрические величины — 36 %, физико-химический состав — 35 %, методы контроля и испытаний — 29 %. Это свидетельствует о системном комплексном подходе национальной стандартизации к метрологическому обеспечению оценки соответствия металлургической продукции из черных металлов и сплавов. Аналитически выявлено, что на первом месте находятся спектральные методы (среди методов контроля и испытаний металлургической продукции из черных металлов и сплавов) по числу введенных в действие после 01.01.2015 г. стандартов, устанавливающих соответствующие требования.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, металлургическая продукция, черные металлы и сплавы, оценка соответствия, стандарт, метод контроля и испытаний, физико-химический состав, геометрические величины.

Введение

22 января 2018 г. НИТУ «МИСиС» и Госкорпорация «Ростех» обсудили возможные варианты сотрудничества по реализации совместных научно-исследовательских разработок для высокотехнологичной промышленности. Университет представил два перспективных проекта, разработанных вместе с индустриальными партнерами вуза:

1. «Сферические порошки специальных сталей и сплавов для горячего прессования и аддитивного производства изделия из металлического порошка с повышенными характеристиками износостойкости и ресурса» (компания «Сферамет»).

2. Создание сталеплавильной лаборатории на базе Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК, входит в компанию «Металлоинвест») и Старооскольского технологического института им. А. А. Угарова — филиала НИТУ «МИСиС» — в целях удешевления и ускорения процесса разработки новых марок высококачественной стали. В условиях сталеплавильной лаборатории можно производить специальные стали и сплавы сложного состава; вакуумная обработка позволит удалять примеси водорода, кислорода, азота, микропримеси цветных металлов и получать высокочистый металл, отвечающий требованиям металлургии [1].

Доказательством того, что заданные требования к продукции, включая металлургическую продукцию из черных металлов и сплавов, выполнены, служит оценка соответствия. Заданные требования, т. е. заявленные потребности или ожидания, устанавливаются нормативными документами (стандартами) [2]. Требования, заданные заявителем, рассматриваются как заявленные требования [2, 3].

Операции и функции по оценке соответствия [4] металлургической продукции из металлов и сплавов должны включать:

* *ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия;*

докт. техн. наук О. И. Борискин, профессор;

ФБУ «Тульский ЦСМ», Тула, Россия;
канд. техн. наук Д. И. Благовещенский;

ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС»; Москва, Россия;
канд. техн. наук Г. А. Нуждин; канд. техн. наук Е. И. Хунузиди;

эл. почта: nuzhdin.65@mail.ru

1. Выбор, планирование и подготовку действий, установление заданных требований, например в национальных стандартах. Требования могут быть установлены в документах по стандартизации, указанных в ст. 14 ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [5].

2. Определение характеристик продукции путем испытаний [6, 7] или других видов работ, связанных с функцией определения [4]. При испытаниях реже определяют одну, чаще — более характеристик объекта оценки соответствия. Другой вид работ, связанный с функцией определения, — контроль процесса. Он может быть в форме оценки соответствия показателей качества серийных металлических материалов/полуфабрикатов для авиационной техники, стабильности и управляемости процессов их производства установленным требованиям и нормам [8]; или в форме проверки технологии, использующей и моделирование операций [9, 10], и закономерности влияния технологических параметров [11–13].

3. Итоговая проверка (изучение свидетельств соответствия, полученного на этапе определения, с целью установления, выполнения установленных требований) [4].

4. Принятие решения по результатам оценки соответствия [4].

5. Подтверждение соответствия (например, выдача свидетельства о соответствии) [4].

В целях улучшения металлургической продукции решали задачу проанализировать метрологическое обеспечение оценки соответствия металлургической продукции из металлов и сплавов, регламентированное в национальных стандартах, введенных в действие после 01.01.2015 г. и выявить возможные тенденции в оценке их соответствия.

Результаты и их обсуждение

Для проведения анализа метрологического обеспечения оценки соответствия металлургической продукции из металлов и сплавов отобраны следующие стандарты:

— впервые введенные в действие после 01.01.2015 г.;

— пересмотренные, введенные в действие после 01.01.2015 г.;

— действующие с принятыми изменениями с датой введения после 01.01.2015 г.

Всего после 01.01.2015 г. введены в действие 242 стандарта, относящиеся к металлургической продукции (рис. 1). По металлургической продукции из черных металлов и сплавов введены в действие 129 стандартов, из них 71 стандарт — впервые. 55 стандартов пересмотрены и введены в действие после 01.01.2015 г. взамен действовавших. К трем действующим стандартам приняты изменения

с датой введения после 01.01.2015 г.

Среди впервые введенных стандартов на металлургическую продукцию из черных металлов и сплавов регламентируют операции и функции по оценке соответствия [4] через методы контроля примесей и легирующих элементов в никелевых сплавах 17 % стандартов; через методы контроля углерода, примесей и легирующих элементов в сталях, чугунах и ферросплавах — 6 % стандартов. Анализ пересмотренных стандартов показал, что 40 % из них регламентируют различные требования и метрологическое обеспечение оценки соответствия сталей и чугунов; примерно 35 % — различные требования к никелю и его сплавам; около 25 % — различные требования к кобальту. А изменения приняты к трем действующим стандартам на сталь и продукцию из нее (таблица). Для сравнения: число стандартов, регламентирующих требования и метрологическое обеспечение оценки соответствия цветных металлов и сплавов: медь и медные сплавы — 37 %; благородные металлы и сплавы — 23 %; алюминий и его сплавы — 18 % (рис. 2).

Проведенным анализом показано распределение требований в стандартах на продукцию из черных металлов и сплавов, введенных в действие за последние три года. Доля установленных требований к методам контроля и испытаний как функции определения [4] среди впервые введенных стандартов — 55 %, среди пересмотренных — 17 %. По требованиям к физико-химическому составу — 25 и 55 % соответственно. Требования к геометрическим величинам отличаются меньше — 20 и 28 % соответственно (рис. 3, а, б).

По всем проанализированным стандартам распределение регламентированных требований к характеристикам объекта оценки соответствия за три последние года достаточно равномерное: геометрические величины — 36 %, физико-химический состав — 35 %, методы контроля и испытаний — 29 %. Это свидетельствует о системном комплексном подходе национальной стандартизации к метрологическому обеспечению оцен-



Рис. 1. Стандарты, введенные в действие с 2015 г.

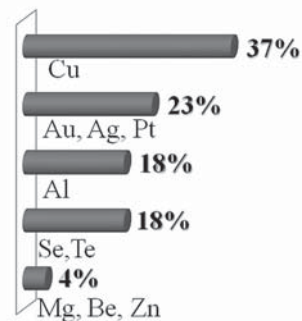


Рис. 2. Стандарты, относящиеся к цветным металлам и сплавам

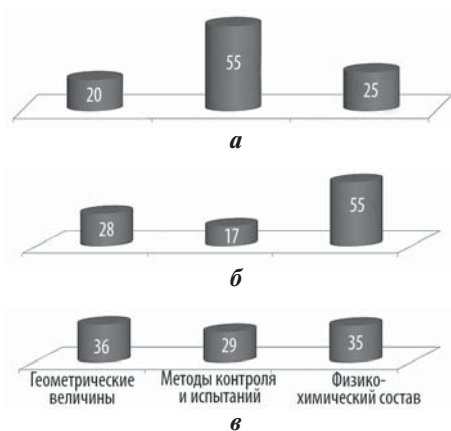


Рис. 3. Стандарты, относящиеся к черным металлам и сплавам, %:
 а — впервые введенные; б — пересмотренные;
 в — среднее число

Перечень национальных стандартов с принятыми изменениями с датой введения после 01.01.2015 г., устанавливающих требования к металлургической продукции из черных металлов и сплавов			
Номер п/п	Обозначение нормативного документа	Наименование НД	Номер изменений, даты введения
1	ГОСТ 380-2005	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки	2-IV-2016
2	ГОСТ 3241-91	Канаты стальные. Технические условия	3-IX-2016
3	ГОСТ 9045-93	Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия	1-V-2016

ки соответствия продукции из черных металлов и сплавов (см. рис. 3, в).

Результаты проведенного анализа по группам требований и работ, связанных с функцией определения [4], показали, что число стандартов, регламентирующих метрологическое обеспечение оценки соответствия через методы контроля и испытаний продукции из черных металлов и сплавов, распределилось следующим образом: спектральные методы — 51 %, неразрушающий контроль — 20 %, механические свойства — 17 %, другие — 12 % (рис. 4).

Заключение

Показано, что метрологическое обеспечение оценки соответствия металлургической продукции в части ее испытаний, регламентированное стан-

дартами (введенными после 01.01.2015 г.), сбалансированное и равномерное по характеристикам объекта оценки соответствия (физико-химический состав; геометрические размеры и величины; методы контроля и испытаний). Аналитически выявлено, что среди этих стандартов преобладают регламентирующие спектральные методы (среди методов контроля и испытаний металлургической продукции из черных металлов и сплавов).



Рис. 4. Стандарты, устанавливающие методы контроля и испытаний металлургической продукции, %

Библиографический список

1. Ростех заинтересован в совместных проектах с НИТУ «МИСиС». Режим доступа : <http://misis.ru/university/news/science/2018-01/5147> (дата обращения : 24.03.2018)
2. ГОСТ ISO/IEC 17000-2012. Оценка соответствия. Словарь и общие принципы. — М. : Стандартинформ, 2014. — 24 стр.
3. Kiss I., Maksay S. Bimetallic cast iron rolls – some approaches to assure the exploitation properties // Tehnicki Vjesnik. 2010. Vol. 17, Iss. 2. P. 173–178.
4. ГОСТ ISO/IEC 17067-2015. Оценка соответствия. Основные положения сертификации продукции и руководящие указания по схемам сертификации продукции. — М. : Стандартинформ, 2016. — 19 с.
5. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О стандартизации в Российской Федерации».
6. Grin' E. A., Anokhov A. E., Pchelintsev A. V., Krüger E.-T. Study of the structure and properties of metal of the major steam lines of a CCGT-420 unit made from high-chromium X10CrMoVNb9-1 (P91) steel // Thermal Engineering. 2016. Vol. 63, Iss. 7. P. 471–480.
7. Борискин О. И., Благовещенский Д. И., Ежова Н. П., Нуждин Г. А., Перминов А. С. Метрологическое обеспечение испытаний магнитных материалов // Черные металлы. 2017. № 12. С. 40–45.
8. Руководство Р СЦМ-04-2017 / Н. В. Баритко и др. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационный регистр. — М. : СЦ «Материал», 2017. Вып. 6. — 31 с.
9. Sun Z., Li L., Schnabel A., Reisner M., Fierlinger P., Stuibler S. Dynamic Modeling of the Behavior of Permalloy for Magnetic Shielding // Journal of Applied Physics. 2016. Vol. 119, Iss. 19. P. 193902.
10. Митин О. Н., Нуждин Г. А., Нгуен К. Х. Моделирование операции обжима с утонением толстостенных трубных заготовок // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. 2014. Вып. 5. С. 57–65.
11. Levkov L. et all. Study of the effect of melting rate on electroslag remelted hollow steel billet quality // Metallurgist. 2014. Vol. 58, Iss. 7-8. P. 677–683.
12. Митин О. Н., Нуждин Г. А., Нгуен К. Х. Закономерности влияния технологических параметров на неоднородность распределения напряжений по толщине детали при обжиме толстостенных трубных заготовок // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. 2014. Вып. 6. С. 46–53.
13. Hou Z., Zhang J., Liu D., Su F., Wang W., Yang C., Xu S. Effects of W Substitution on the Magnetic Properties, Phase Evolution and Microstructure of Rapidly Quenched Co80Zr18B2 Alloy // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2014. Vol. 368. P. 116–120.

METROLOGICAL PROVISION OF CORRESPONDENCE EVALUATION FOR METALLURGICAL PRODUCTS

O. I. Boriskin¹, Dr. Eng., Prof., Head of the Chair of Instrumental and Metrological Systems, Director of Polytechnic Institute
D. I. Blagoveshchensky², Cand. Eng.
G. A. Nuzhdin³, Cand. Eng., Associate Prof.
E. I. Khunuzidi³, Cand. Eng.

¹ Tula State University (Tula, Russia)
² State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in Tula Region (Tula, Russia)
³ National University of Science and Technology “MISIS” (Moscow, Russia)

E-mail: nuzhdin.65@mail.ru

Abstract: The Concept of the Russian Federation national standardization system development until 2020 is implemented. According to this concept, standardization is one of the key factors influencing technological development of Russia. Among them the following are mentioned: atomic industry, heavy and transport mechanical engineering, aviation and ship-building industry. New developments, as well as new steel grades, have to come to the end with the proof that the set requirements are fulfilled. As such proof serves conformance assessment. The national standards on metallurgical production from ferrous metals and alloys which are put into operation for the last three years (after 01.01.2015) have been selected. Then all of them have been analyzed for conformance assessment metrological support improvement. For carrying out the analysis all three groups of the standards (129 documents) relating to metallurgical production from ferrous metals and alloys have been selected. 71 standards have been for the first time enacted after 01.01.2015. 55 standards have been reconsidered and enacted after 01.01.2015. To three existing standards changes with date of introduction after 01.01.2015 have been accepted. In general according to all analyzed standards distribution of the regulated requirements in three last years rather uniform. Geometrical characteristics — 36%. Monitoring and test methods — 29%. Physical and chemical composition — 35%. It demonstrates a system integrated approach of national standardization to production from ferrous metals and alloys. It is analytically revealed that on the first place on number of the standards which are put into operation after 01.01.2015 establishing metallurgical production from ferrous metals and alloys monitoring and test methods there are spectral methods.

Key words: metrological support, ferrous metals and alloys, conformance assessment, standard, monitoring and test method, physical and chemical composition, geometrical characteristics.

References:

1. Rostekh is interested in cooperation with NITU “MISIS”. Available at <http://misis.ru/university/news/science/2018-01/5147> (accessed: 24.03.2018).
2. GOST ISO/IEC 17000-2012. Conformity assessment. Vocabulary and general principles. Moscow: Standartinform, 2014. 24 p.
3. Kiss I., Maksay S. Bimetallic cast iron rolls — some approaches to assure the exploitation properties. *Tekhnicheskij Vjesnik*. 2010. Vol. 17, Iss. 2. pp. 173–178.
4. GOST ISO/IEC 17067-2015. Conformity assessment. Fundamentals of product certification and guidelines for product certification schemes. Moscow: Standartinform, 2016. 19 p.
5. Federal law dated 29.06.2015 No. 162-FZ (rev. 03.07.2016) «About standardization in Russian Federation».
6. Grin’ E. A., Anokhov A. E., Pchelintsev A. V., Krüger E.-T. Study of the structure and properties of metal of the major steam lines of a CCGT-420 unit made from high-chromium X10CrMoVNb9-1 (P91) steel. *Thermal Engineering*. 2016. Vol. 63, Iss. 7. pp. 471–480.
7. Boriskin O. I., Blagoveshchensky D. I., Ezhova N. P., Nuzhdin G. A., Perminov A. S. Metrological provision of testing of magnetic materials. *Chernye metally*. 2017. No. 12. pp. 40–45.
8. R STsM-04-2017 Guide. Baritko N. V. et al. Interstate aviation committee. Aviation register. Moscow: STs «Material», 2017. Iss. 6. 31 p.
9. Sun Z., Li L., Schnabel A., Reisner M., Fierlinger P., Stuibler S. Dynamic Modeling of the Behavior of Permalloy for Magnetic Shielding. *Journal of Applied Physics*. 2016. Vol. 119, Iss. 19. p. 193902.
10. Mitin O. N., Nuzhdin G. A., Nguen K. Kh. Modeling of tubular billet pressing with thinning. *Izvestiya TulGU. Seriya Tekhnicheskie nauki*. 2014. Iss. 5. pp. 57–65.
11. Levkov L. et al. Study of the effect of melting rate on electroslag remelted hollow steel billet quality. *Metallurgist*. 2014. Vol. 58, Iss. 7–8. pp. 677–683.
12. Mitin O. N., Nuzhdin G. A., Nguen K. Kh. Regularity of the influence of technological parameters on stress distribution heterogeneity on the part thickness during pressing thick-walled tubular billets. *Izvestiya TulGU. Seriya Tekhnicheskie nauki*. 2014. Iss. 6. pp. 46–53.
13. Hou Z., Zhang J., Liu D., Su F., Wang W., Yang C., Xu S. Effects of W Substitution on the Magnetic Properties, Phase Evolution and Microstructure of Rapidly Quenched Co80Zr18B2 Alloy. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2014. Vol. 368. pp. 116–120.

Бигеев В. А., Столяров А. М., Валихметов А. Х.

Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе:

Учебное пособие

В учебном пособии рассмотрены металлургические технологии, используемые в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе на примере ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и металлургической компании «ММК-Металуржи». В работе представлены основное оборудование и технология для выплавки полупродукта в мощных дуговых сталеплавильных печах переменного тока вместимостью 180 и 250 т с альтернативной энергетикой, доводки металла на агрегатах ковшевой обработки: агрегате «ковш-печь» и вакуумных установках камерного и циркуляционного типа. Рассмотрено устройство и работа сухой газоочистки ДСП, уделено внимание способам повышения стойкости футеровки сталеразливочного ковша. В пособии подробно рассмотрены оборудование и технология для непрерывной разливки стали с получением сортовой и слябовой заготовок, а также тонких слябов и толстого горячекатаного листа в составе литейнопрокатного комплекса. Широко представлены данные по оценке качества получаемых непрерывнолитых заготовок. Пособие предназначено для изучения дисциплины «Металлургические технологии» обучающимися по направлению подготовки 150400.62 «Металлургия» по профилю «Металлургия черных металлов».

ISBN: 978-5-9967-0563-4
 Страницы: 308
 Переплет: твердый

Издатель: Издательство ФГБОУ ВО МГТУ им. Г. И. Носова
 Язык: Russian
 Год издания: 2014



Реклама

По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.,
 стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.
 Эл. почта: books@rudmet.ru
 Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
 Издательский дом

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАТРАТ В СОРТОПРОКАТНЫХ ЦЕХАХ СТРАН ЕВРОСОЮЗА, СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

С.-Э. ЛУНДБЕРГ*

Метод сравнительного анализа используется для сопоставления похожих заводов. В оценке же сходства возникает ряд проблем. Поэтому в реальных условиях сравнительный анализ проводили по трем регионам – Евросоюзу, Северной Америке и Восточной Европе. Затраты по переработке сравнивали для новых цехов мощностью 750 тыс. т/год. В различных регионах эти затраты имеют один и тот же порядок величины. Преимущество, связанное с меньшей почасовой оплатой в Восточной Европе, теряется из-за большей численности персонала. Большая мощность дает меньшие затраты. Это является угрозой для многих сортопрокатных цехов стран Евросоюза. Была разработана модель расчета затрат по переработке в зависимости от мощности цеха. Данная модель дает вполне точные прогнозы. Сравнение расчетных затрат с фактическими в новых цехах говорит об их достаточном соответствии друг другу. Самым слабым местом является оценка капитальных издержек, которые не определяются с технологической точки зрения. Возможно, это является главной причиной разброса в значениях затрат по переработке для похожих заводов.

Ключевые слова: затраты, анализ, предприятия, инвестиции, мощность цеха, капиталовложения, сортопрокатное производство.

С развитием сортопрокатного производства после второй мировой войны производственная мощность цехов резко возросла [1–3]. При этом увеличились и капитальные вложения, и если пятьдесят лет назад строили цеха годовой мощностью 50–100 тыс. т [1, 2], то мощность современных цехов по производству торгового сортового проката составляет от 300 тыс. до 1 млн. т/год [4]. Из трудоемкого сортопрокатное производство превратилось (как минимум, на практике) в капиталоемкий бизнес [5]. Однако из-за продолжительного срока службы сортопрокатного стана и высокой мощности современных цехов капитальные издержки все еще остаются на умеренном уровне, и здесь более уместно говорить о наукоемком бизнесе [3].

Традиционным странам-производителям стали в Евросоюзе, Северной Америке и Восточной Европе брошен вызов со стороны новых производителей, составляющих конкуренцию не только в части заработной платы, но и новых высокопроизводительных производств [6] и даже собственных исследований [7]. В данном контексте традиционные производители должны понимать свою структуру затрат, положение в данной отрасли относительно других участников, а также меры, которые необходимо

предпринимать для сохранения своего лидирующего положения.

В данной статье приведены примеры структуры затрат для типовых сортопрокатных цехов, а также сравнительный анализ затрат на переработку с другими заводами в том же географическом регионе и регионах-конкурентах.

Затратные факторы в сортопрокатном производстве

Затратами по переработке в цехе считаются затраты, непосредственно относящиеся к переработке заготовки в сортовой прокат. Они не включают цену на материал, выход по отходам и угару, хотя выход годного в значительной степени зависит от работы цеха. Затраты по переработке складываются из затрат на передел и капитальных издержек. В табл. 1 показана типичная структура затрат по переработке для цеха по выпуску торгового сортового проката годовой мощностью 750 тыс. т, расположенного в Евросоюзе.

Затраты на передел

Основными статьями затрат являются энергоносители в размере 18,21 евро/т (на топливо приходится 5,9 евро, а на электроэнергию 12,31 евро), за которыми следуют затраты на персонал в размере 7,45 евро. Важными статьями затрат являются обслуживание и капитальные затраты, связанные с хранением продукции и материальных ценностей.

* *Университет Евле, Евле, Швеция:*

докт. философии С.-Э. Лундберг, почетный профессор, факультет машиностроения;

эл. почта: serikl2011@gmail.ru

© Лундберг С.-Э., 2018

Таблица 1.
Затраты по переработке для сортопрокатного цеха мощностью 750 тыс. т/год, находящегося в одной из стран Евросоюза

	Удельное потребление, ед./т	Цена, евро/т	Затраты, евро/т
Природный газ (35 МДж/м ³) (при н. у.), Нм ³	34	0,174	5,90
Электроэнергия, кВт·ч	120	0,103	12,31
Персонал, чел·ч	0,241	30,91	7,45
Вода для охлаждения, м ³	0,34	0,83	0,28
Сжатый воздух (0,6 МПа), м ³ (при н. у.)	20	0,0055	0,11
Смазка и гидравлические жидкости, кг	0,07	8,27	0,58
Валки, кг	0,3	3,31	0,99
Проводки, кг	0,2	2,48	0,50
Оснастка и запчасти, кг	0,15	3,31	0,50
Обслуживание и ремонт, %/год	2	53830000	1,44
Безопасность, евро/год			0,13
Затраты на оборотный капитал, евро/год	991000		1,32
Транспортные затраты, евро/год			0,08
Технический контроль и управление, евро/год		586000	0,78
Затраты на передел			32,37
Капитальные издержки, %/год	17,1	136200000	31,05
Затраты по переработке			63,42

Ежегодная стоимость обслуживания принимается равной 2 % стоимости оборудования.

Затраты на передел весьма просты в учете, их можно рассчитать по удельному расходу и стоимости единицы.

Капитальные издержки

Вопрос капитальных издержек является более политическим. Он зависит от полагаемого или ожидаемого срока эксплуатации завода и требуемого уровня прибыли на инвестированный капитал [8]. Кроме того, он зависит от выработки цеха.

Обычно капиталовложения в промышленные предприятия оцениваются по соотношению между вложением и мощностью согласно модели, описанной в работе [8]:

$$I/I_0 = (C/C_0)^q, \quad (1)$$

где I — вложение в завод мощностью C ; I_0 — известное вложение в аналогичный завод мощностью C_0 ; q — показатель степени, значение которого зависит от типа цеха.

В большинстве случаев значение q составляет примерно 2/3. Для прокатных цехов показатель

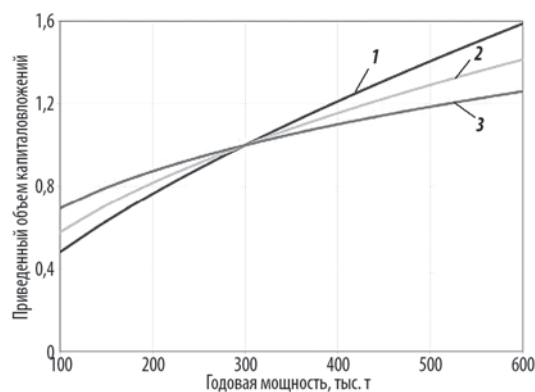


Рис. 1. Влияние мощности сортопрокатного цеха на объем капиталовложений: единице соответствует цех мощностью 300 тыс. т/год:
1 — показатель степени равен 2/3;
2 — показатель степени равен 1/2;
3 — показатель степени равен 1/3

обычно уменьшается в основном до уровня 1/2 [9]. Это удорожает инвестиции в маломощные цеха, по сравнению с высокомоощными, как показано на рис. 1, где годовая мощность отложена по оси абсцисс, а приведенное вложение — по оси ординат. Базовое капиталовложение ($I/I_0 = 1$) установлено для цеха годовой мощностью 300 тыс. т [3].

Сравнительно больший объем вложений для цехов меньшей мощности влияет на капитальные издержки, не только за счет больших удельных инвестиций в маломощный цех, но и меньшего объема продукции, на которую можно было бы перенести эти издержки.

Вопрос состоит в принятии решения о сроке эксплуатации цеха и требованиях к уровню прибыли на инвестированный капитал. В западной практике вполне обычно принимать 15-летний период амортизации (равный сроку эксплуатации) и 15%-ную ставку на вложенный капитал, что является мерой конкурентоспособности ресурсов. Поэтому ежегодные отчисления, входящие в себестоимость произведенного проката, составляют примерно 17 % общего объема вложений, согласно следующей формуле [8, 9]

$$A = p/[1 - (1 + p)^{-n}], \quad (2)$$

где A — ежегодные отчисления; p — процентная ставка на вложенный капитал; n — период амортизации.

Методология

Данная статья представляет собой обобщение результатов нескольких исследований, в которых автор принимал активное участие. Оно включает экспертизу хозяйственной деятельности, общий

анализ производительности, исследования экономической целесообразности по инвестиционным проектам и сравнительный анализ. Данные были получены из внутренней документации заказчиков, а также в ходе интервью с ключевыми сотрудниками реальных заводов. Кроме того, для поиска исходных данных по энергоносителям и затратам, получение которых от заказчиков было затруднено, использовали литературные данные [10–16].

Были проанализированы заводы, открытые, начиная с 2000 г., особенно в период 2008–2013 гг. Однако ряд заводов был введен в эксплуатацию ранее.

Данные по затратам в местных валютах, полученные от заводов, были пересчитаны в евро по курсу, действующему на момент проведения анализа, а затем приведены к уровню затрат 2017 г., исходя из того, что темпы их роста составляют 3 %/год.

Затем данные были подвергнуты статистической обработке [17], с учетом гипотезы, что соотношение между выработкой цеха и затратами по переработке выражается следующим образом:

$$Q = m \cdot C^b, \quad (3)$$

где Q — затраты по переработке; C — мощность; m и b — константы, полученные при статистической обработке.

Чтобы исключить экстремальные значения констант m и b , во время анализа переменная C была заменена на $C/1000$.

В силу конфиденциальности названия и местоположения анализируемых заводов не разглашали. Поэтому и страны, где эти заводы расположены, в данной статье не указаны.

Предприятия Евросоюза учитывались по состоянию на 2004 г., когда в него входило 25 стран. Это связано с тем, что на момент исследований страны, ставшие членами ЕС в 2007 и 2013 гг., были ближе к Восточной Европе, чем к самому Евросоюзу. Регион Северной Америки включает в себя Канаду, Мексику и США. К Восточной Европе обычно относят Россию, Белоруссию, Украину, Турцию и страны, недавно вступившие в Евросоюз.

Обычно предметом сравнительного анализа являются цеха, выпускающие аналогичную продукцию, а его целью является выяснение причин наблюдаемых различий [18]. Производятся расчет и сопоставление основных производственных показателей, часто обозначаемых как «ключевые показатели эффективности» (Key Performance Indicators, KPI): часовая выработка, удельный расход топлива, потребление электроэнергии, выход годного и др. [18–21].

Ключевые показатели эффективности и связанные с ними затраты являются базой для срав-

нительного анализа. Важно понять различия между цехами, а также оценить, каким образом различия влияют на результаты сравнительного анализа относительно показателей KPI и затрат.

Сравнительный анализ затрат для новых цехов

Основы сравнительного анализа восходят к анализу экономической целесообразности инвестиций в цех по производству торгового сортового проката годовой мощностью 750 тыс. т.

Сортамент цеха выглядит следующим образом:

Арматура в бунтах, мм	10–30
Арматура в прутках, мм	10–40
Круглый профиль, мм	10–40
Квадратный профиль, мм	10–40
Равнополочный уголок, мм	От 20×20×3 до 50×50×6
Неравнополочный уголок, мм	От 25×16×3 до 63×40×5
Швеллер, мм	50–80

Для стран ЕС и Северной Америки объем капиталовложений оценивается в 136 млн. евро, для стран Восточной Европы значение немного меньше.

Влияние мощности цеха на затраты по переработке

Затраты по переработке для цехов с различным сроком эксплуатации и выработкой были обобщены. Статистической обработке подвергли данные по 21 сортопрокатному стану, 13 из которых расположены в Евросоюзе, 6 — в Северной Америке и 2 — в Восточной Европе.

Подробную структуру затрат и капиталовложений представить невозможно, в том числе по причинам конфиденциальности и прошедшей модернизации ряда заводов, что затрудняет анализ капиталовложений.

Результаты

Приведено сравнение затрат по переработке для новых цехов, эксплуатируемых в Евросоюзе, Северной Америке и Восточной Европе.

Евросоюз. Затраты по переделу и капитальные издержки для нового цеха по производству торгового сортового проката, находящегося в одной из стран Евросоюза, приведены в табл. 1.

Ситуация с затратами в различных странах Евросоюза весьма похожа, если не идентична. Цены на топливо могут различаться не только между странами, но и между регионами одной и той же страны. Это зависит от наличия доменного или коксового, а также природного газа и влияет на затраты на топливо. Цены на электричество также разнятся между странами Евросоюза, в зависимости от технологии выработки электроэнергии.

Таблица 2.
Затраты по переработке для сортопрокатного цеха мощностью 750 тыс. т/год, находящегося в Северной Америке

	Удельное потребление, ед./т	Цена, евро/т	Затраты, евро/т
Природный газ (32 МДж/м ³) (при н. у.), Нм ³	38	0,137	5,20
Электроэнергия, кВт·ч	120	0,041	4,94
Персонал, чел·ч	0,242	34,71	8,40
Вода для охлаждения, м ³	0,34	0,83	0,28
Сжатый воздух (0,6 МПа), м ³ (при н. у.)	20	0,0072	0,14
Смазка и гидравлические жидкости, кг	0,07	8,27	0,58
Валки, кг	0,3	3,31	0,99
Проводки, кг	0,2	2,48	0,50
Оснастка и запчасти, кг	0,15	3,36	0,50
Обслуживание и ремонт, %/год	2	53830000	1,44
Безопасность, евро/год			0,13
Затраты на оборотный капитал, евро/год	991000		1,32
Транспортные затраты, евро/год			0,06
Технический контроль и управление, евро/год		586000	0,78
Затраты на передел			25,26
Капитальные издержки, %/год	17,1	136200000	31,05
Затраты по переработке			56,3

Затраты на валки и проводки одинаковы в большинстве стран. Это естественно, поскольку большинство необходимых материально-технических ресурсов приобретаются на внешнем рынке, и разница цен в пределах региона выглядит необоснованной. Следовательно, и цена за единицу МТР будет одинаковой.

Северная Америка. В табл. 2 представлена структура затрат по переработке для нового цеха по производству торгового сортового проката, находящегося в Северной Америке.

Для североамериканского завода только введенного в эксплуатацию затраты по переработке существенно ниже, чем для аналогичного завода в Евросоюзе.

Низкие американские цены на газ в сочетании с низкими затратами на электроэнергию способствуют снижению затрат, а высокие зарплаты приводят к большим, чем в Европе, расходам на персонал, несмотря на примерно одинаковый коэффициент его использования.

Капитальные вложения, а следовательно, и капитальные издержки те же, что и в странах Евросоюза.

Восточная Европа. В табл. 3 представлена структура затрат по переработке для нового цеха по производству торгового сортового проката, находящегося в одной из стран Восточной Европы.

Таблица 3.
Затраты по переработке для сортопрокатного цеха мощностью 750 тыс. т/год, находящегося в одной из стран Восточной Европы

	Удельное потребление, ед./т	Цена, евро/т	Затраты, евро/т
Смешанный газ, Нм ³ (при н. у.) 25 м ³ природного газа (33,5 МДж/м ³), 112 м ³ доменного газа (3,5 МДж/м ³)	137	0,036	4,94
Кислород, Нм ³	0,194	0,08	0,02
Электроэнергия, кВт·ч	120	0,0445	5,34
Персонал, чел·ч	0,799	8,49	6,78
Вода для охлаждения, м ³	0,34	0,82	0,28
Сжатый воздух (0,6 МПа), м ³ (при н. у.)	20	0,0061	0,12
Смазка и гидравлические жидкости, кг	0,1	8,26	0,83
Валки, кг	0,3	3,31	1,57
Проводки, кг	0,2	2,48	0,50
Оснастка и запчасти, кг	0,1	3,31	0,33
Обслуживание и ремонт, %/год	2	53830000	1,44
Безопасность, евро/год			0,51
Затраты на оборотный капитал, евро/год	991000		1,32
Транспортные затраты, евро/год			0,20
Технический контроль и управление, евро/год		400000	0,53
Затраты на передел			24,71
Капитальные издержки, %/год	17,1	126700000	28,88
Затраты по переработке			53,84

По сравнению с Евросоюзом, затраты на топливо здесь существенно ниже, что связано с более дешевым топливом, в состав которого входит значительное количество доменного газа.

Капиталовложения в странах Восточной Европы несколько меньше, чем в странах Евросоюза. В основном это связано с меньшими затратами на местный персонал при строительстве, в основном из-за низкого уровня зарплат, при этом численность персонала существенно выше. Если цена за единицу трудозатрат в странах Евросоюза более чем в 3,5 раза превышает аналогичный показатель в Восточной Европе, то затраты на персонал выше лишь незначительно. Причина этого заключается в том, что в Евросоюзе персонал обычно насчитывает примерно 30 человек на смену, что дает удельные трудозатраты в размере 0,24 человеко-часа на 1 т продукции при ежегодной выработке 750 тыс. т; в странах Восточной Европы этот показатель составляет порядка 0,8 человеко-часа на 1 т. Это можно объяснить тем, что на заводах Восточной Европы не полностью используют преимущества современных прокатных технологий, как, например, быстрой смены валков, концепции Ready-To-Roll (готовность к немед-

Таблица 4.
Затраты по переработке для 21 цеха, эксплуатируемого в настоящее время

Регион	Продукция цеха	Год запуска*	Годовая мощность, т	Затраты по переработке, евро/т
Евросоюз	Торговый сортовой прокат	2003	200000	87,08
	Прутки/мелкосортные профили	1997	280000	64,91
	Арматура в прутках и бунтах	1996	300000	47,39
	Арматура	1998	300000	73,13
	Прутки/мелкосортные профили	2000	400000	70,19
	Торговый сортовой прокат	2007	400000	60,84
	Торговый сортовой прокат	1990	500000	62,46
	Прутки/мелкосортные профили	2003	500000	43,37
	Прутки/мелкосортные профили	1996	550000	65,10
	Арматура	2000	630000	60,61
	Арматура	2001	700000	42,48
	Арматура	2002	900000	44,17
	Торговый сортовой прокат	2004	900000	56,47
Северная Америка	Арматура	1998	300000	51,20
	Прутки/мелкосортные профили	2000	300000	46,21
	Прутки/мелкосортные профили	2001	300000	54,48
	Прутки/мелкосортные профили	1998	400000	43,61
	Арматура в прутках и бунтах	1996	500000	43,25
	Прутки/мелкосортные профили	2006	550000	41,32
Восточная Европа	Торговый сортовой прокат	2000	430000	63,03
	Торговый сортовой прокат	2009	720000	61,91

*Также обозначает год последней реконструкции.

ленной прокатке), а также прокатки одним семейством калибров; для них также характерно использование значительной доли ручного труда на участках отделки.

Учитывая возможное сокращение удельных затрат примерно на 2,5 евро на 1 т в цехе, расположенном в Восточной Европе, эта разница будет увеличиваться, обеспечивая дополнительное преимущество по отношению к странам Евросоюза.

Несмотря на скромную роль в структуре затрат, следует отметить большую разницу в затратах на обеспечение безопасности по сравнению с западными странами. Основная причина заключается в том, что в цехах стран Евросоюза собственно в производство вовлечено гораздо меньше людей, чем в цехах стран Восточной Европы. Кроме того,

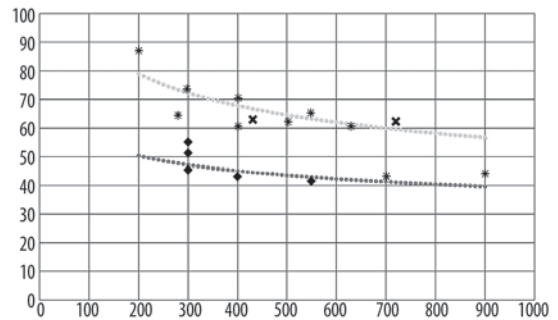


Рис. 2. Соотношение между объемом производства и затратами по переработке для цехов, эксплуатируемых в странах Евросоюза, Северной Америки и Восточной Европы:

× — серия 1; * — серия 2; ◆ — серия 3;
● — серия 4; • — серия 5

технологии и оборудование уже содержат в себе средства обеспечения безопасности. При высокой степени автоматизации деятельность по обеспечению безопасности персонала и соответствующее оборудование уже не являются первоочередной задачей.

Влияние мощности цеха на затраты по переработке

В табл. 4 показаны затраты по переработке для 21 сортопрокатного цеха, эксплуатируемого в анализируемых регионах.

На рис. 2 удельные затраты по переработке в евро на 1 т были сопоставлены с выработкой цеха в тысячах тонн за год. Серия № 1 графика относится к цехам стран Восточной Европы, серия № 2 — Евросоюза, серия № 3 — стран Северной Америки. Сравнительный анализ затрат выявил два различных уровня, первый — ниже 55 евро/т, а второй — выше 55 евро/т. Серии № 4 и 5 показывают адаптированные регрессионные функции для верхней и нижней области затрат.

«Верхняя» функция имеет коэффициенты $m = 253,41$ и $b = -0,22$. Коэффициент корреляции r вполне приемлем (0,83), но для «нижней» функции он составляет всего лишь 0,7. Коэффициенты регрессии $m = 117,69$ и $b = -0,16$.

У коэффициентов нет физической размерности.

Обсуждение результатов

Вполне приемлемая корреляция между выработкой цеха и затратами на переработку очевидна. Отклонение от идеальной характеристики зависит от нескольких факторов, например местные различия в затратных составляющих — топливе, электроэнергии и зарплатах. Другими причинами являются различные требования к техническому обслуживанию и ремонтам, а также несоответствие

между мощностью и фактической выработкой цеха. Вероятно, такой недостаток, как высокая стоимость трудозатрат из-за высокого уровня зарплаты в Евросоюзе, нивелируется за счет задействования большего числа работников в странах Восточной Европы. Опыт показывает, что обычно в большинстве стран Восточной Европы, и особенно в России, число задействованного персонала на 1 т произведенного проката может в три раза превосходить аналогичные показатели для стран Евросоюза и Северной Америки, даже с учетом использования труда контрактников в западной практике. При запуске новых цехов в странах Восточной Европы современные прокатные технологии, уже применяемые в Северной Америке и Евросоюзе, открывают широкие возможности по сокращению затрат по сравнению с существующими цехами.

Затраты на передел примерно одинаковы по различным регионам, изученным в данной работе, и единственным решением остается сокращение затратных составляющих. Поэтому не стоит полагать, что нижняя кривая на рис. 2 построена правильно. С другой стороны, капитальные издержки могут варьироваться в силу различных причин, и скорее всего данные капитальные издержки определены необъективно. На более старых заводах остаточный капитал может быть определен ненадлежащим образом. Заводы могут пользоваться различными критериями в плане процентных ставок и периода амортизации при оценке капитальных издержек, а несоответствие между проектной мощностью и фактической выработкой также влияет на капитальные издержки. Другим вероятным источником ошибок может быть обменный курс валюты, и видно, что несколько цехов, относящихся к нижней части графика на рис. 2, были введены в эксплуатацию еще до ввода общеевропейской валюты. Следовательно, нельзя исключать, что неправильный выбор курсов валюты повлиял на расчет капитальных издержек, составляющих значительную долю низких затрат по переработке, показанных в нижней части графика.

Большинство заводов, относящихся к нижней ветви графика на рис. 2, расположены в Северной Америке. Североамериканский рынок труда не столь однороден, как в Евросоюзе, и на нем имеют место существенные различия в уровне зарплат между северной и южной частями. Естественно, это может привести к некоторому снижению затрат на передел и, следовательно, к снижению затрат по переработке на ряде заводов. Однако даже если стоимость единицы трудозатрат будет на том же уровне, что и в странах Восточной Европы, ее вклад не превысит 6,3 евро/т, что очень далеко от уровня в 20–30 евро/т.

Данные оценки затрат, сделанные для новых заводов, и результаты сравнительного анализа, включая составленную регрессионную модель, показывают существенное влияние мощности на затраты по переработке, особенно при минимальных мощностях. На самом деле это представляет угрозу в регионах, где работают несколько старых заводов, предназначенных в основном для работы на местных рынках и, следовательно, с меньшей производительностью. Такова ситуация в странах Евросоюза. Учитывая возможность сокращения штата заводов и, следовательно, затрат на персонал в странах Восточной Европы при запуске новых заводов, будущее выглядит для прокатной отрасли Евросоюза не слишком радужно.

Оценки, сделанные для новых заводов (не включенных в регрессионный анализ), хорошо согласуются с адаптированной моделью. Если по уравнению (3) с фактическими значениями m и b получаются удельные затраты 59,06 евро/т при мощности 750 тыс. т/год, то капиталовложения оцениваются в 63,42 евро/т (Евросоюз), 56,81 евро/т (Северная Америка) и 53,84 евро/т (Восточная Европа). Среднее значение составляет 57,86 евро/т. Также следует заметить, что затраты по переработке, полученные в ходе сравнительного анализа относительно нового цеха в Восточной Европе мощностью 720 тыс. т/год, составляют 61,91 евро/т.

В обширное исследование подобного типа, где задействовано много людей, могут вкратке влезть нестыковки в виде неверной информации о цифрах, ценах и затратах. Другим источником ошибок могут стать недоразумения в ходе интервьюирования. Наиболее серьезным источником ошибок, с которым практически невозможно разобраться, являются цены, которые не ведут себя в соответствии с общими трендом. Типичным примером являются цены на энергоносители, особенно цены на газ, а также на электроэнергию, которые могут меняться в различных направлениях, в зависимости от используемой технологии выработки. Возможно, это наиболее деликатная часть анализа наряду с непредвиденными колебаниями обменного курса валюты. Однако полагают, что представленные калькуляции затрат являются не только обоснованными, но и непротиворечивыми, а результаты можно использовать во всех анализируемых регионах.

Выводы

В сортопрокатном производстве затраты по переработке могут изменяться в широком диапазоне. Наиболее важными факторами являются годовая мощность и коэффициент загрузки цеха, т. е. его выработка.

В сортопрокатном производстве основными факторами, определяющими затраты по переделу, являются энергия и персонал — именно здесь для изучаемых регионов характерны различия в соотношении затрат на топливо, электричество и персонал. Важным моментом является выбор топлива и его доступность, а также технология выработки электроэнергии.

Затраты на персонал зависят не только от цены единицы трудозатрат, но и от технологического уровня в плане автоматизации, применения современных технологий и организации производства. В странах Восточной Европы численность персонала цеха существенно выше, чем в странах Евросоюза и Северной Америки, и преимущество низких почасовых ставок часто теряется из-за числа работающих, даже если учитывать практику использования контрактников в западных странах.

Угрозу сортопрокатным цехам в странах Евросоюза представляет большое число небольших заводов, все еще работающих в данном регионе.

Можно предположить, что в будущем существующая конкуренция ужесточится еще больше.

Значительная часть разброса в затратах по переработке связана с определением капитальных издержек. Данный разброс связан с экономикой, а не с технологией, и поиск общей платформы по оценке капитальных издержек является непростой задачей.

Модель, разработанная для расчета затрат по переработке, дает вполне приемлемое, но не идеальное описание затрат. Она полезна на стадии концептуальной разработки, при оценке целесообразности возможных инвестиций, а также уровня затрат для их сравнительного анализа, но не обладает достаточной точностью для определения фактических затрат в конкретном цехе.

Опыт данного широкомасштабного сравнительного анализа внушает оптимизм, несмотря на наличие ряда слабых мест.

Библиографический список

(См. англ. блок).

“CHERNYE METALLY”, 2018, № 9, pp. 69–75

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPENSES FOR SECTION ROLLING MILLS IN DIFFERENT EUROPEAN AND AMERICAN COUNTRIES

S.-E. Lundberg¹, Dr., Prof., Dept. of Mechanical Engineering

¹ University of Gävle (Gävle, Sweden)

E-mail: serikl2011@gmail.com

Abstract: Benchmarking is a method to compare similar plants. Several problems arise in the evaluation of the similarity. Therefore the actual benchmarking was divided into three areas, the European Union, North America and Eastern Europe. The transformation cost was compared for new mills rolling 750,000 t/a. The costs are of the same order in the different areas. The advantage of low hourly wages in Eastern Europe is lost due to the larger mill crew. Higher mill capacity give lower cost. This is a threat to many EU-located bar mills. A model to calculate the transformation cost as a function of the capacity was developed. The model give fairly good predictions. Comparison of the calculated cost to the costs of the investigated new mills show sufficient conformity. The weakest point is the estimation of the capital cost, which is not technologically determined. This is probably the main reason for deviations in transformation costs shown for similar plants.

Key words: expenses, analysis, enterprises, capital investments, shop capacity, section rolling, benchmarking, Europe, North America.

References:


1. Norlindh, E.: *stahl u. eisen* 75 (1955) No. 11, pp. 700/09.
2. Recalcatti, C.: *La Met. Ital.* 52 (1997) No. 10, pp. 23/29.
3. Lundberg, S.-E.: *Steel Grips* 8 (2010), pp. 105/11.
4. Müller, H.: *Iron Steel Techn.* 4 (2007) No. 9, pp. 50/57.
5. Lundberg, S.-E.: Nuevo concepto en micromolinos laminares para mejorar su utilizacion y disminucion de costos operativos y de capital, *Proc. V Congreso Internacional de Metalurgia de Transformacion*,

24–27 Nov 2010, Tacna, Peru, pp. 166/70.

6. Masini, R.; Lainati, A.: *Millennium Steel* (2005), pp. 216/21.
7. Azadeh, A.; Ghaderi, F.: *J Appl. Sci.* 6 (2006) No. 3, pp. 611/15.
8. Ljung, B.: *Investeringsbedömning (Evaluation of Investments)*, 2nd ed., Akademilitteratur, Stockholm, Sweden, 1977.
9. Wolf, F.; van der Rijst, A.: *stahl u. eisen* 102 (1982) No. 5, pp. 233/38.
10. Paternoster, F.; Kumer, B.: *Der Kalibreur* 72 (2011), pp. 35/44.
11. Lundberg, S.-E.: An integrated system for minimizing the downtime for dimensional changes in bar mills, *Proc. AISTech 2012, 7–10 May 2012, Atlanta, USA*, pp. 2033/51.
12. Gonzalez, H.: *Der Kalibreur* 74 (2013), pp. 19/26.
13. Fabris, R.; Lainati, A.; Masini, R.: *MPT Intern.* 27 (2004) No. 6, pp. 54/60.
14. Sanchez, D.: *MPT Intern.* 31 (2008) No. 2, pp. 98/100.
15. Boubli, H., Verlezza, L., Giacomini, L.: *Rev. de Met. CIT* (2009) July/Aug, pp. 280/86.
16. Lundberg, S.-E.: Quenched and self tempered rebar — process overview, layout, operational parameters and cost savings, *Proc. AISTech 2010, 3–6 May 2010, Pittsburgh, USA*, Vol 2, pp. 717/26.
17. Chatfield, C.: *Statistics for Technology*, 3rd Ed., Chapman and Hall, London, UK, 1991.
18. Fleischer, M.: *Der Kalibreur* 69 (2008), pp. 35/48.
19. Lundberg, S.-E.: Bar Mill Performance» [in: Lundberg, S.-E. [ed.], *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 11th Ed., Long Products Volume, AIST, Warrendale, USA, 2017, pp. 459/66, ISBN 978-935117 57–5.
20. Munther, P. A.; Wheeler, J. G.: The effect of market demand and operating philosophy on the productivity in a bar and wire rod mill, *Proc. 44th MWSP Conference, 8–11 Sept 2002, Orlando, USA*, Vol. XI, pp. 199/212.
21. Norden, K. E.; Tetlow, D. M.: The yield improvement technology — a new tool for monitoring rolling mill performance, *Proc. 2nd Europ. Rolling Conf. (Rolling 2000), 24–26 May 2000, Västerås, Sweden*.


Ore & Metals Weekly
 Since 2012
 Горноурная промышленность · Угольная промышленность · Металлургия
 ЕЖЕНЕДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ НОВОСТНОЕ ИЗДАНИЕ

Всем клиентам предлагаем оформить бесплатную подписку на новый продукт Издательского дома «Руда и Металлы» — еженедельное новостное электронное издание Ore & Metals Weekly, распространяемое бесплатно в виде e-mail-рассылки

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА:
<http://www.rudmet.ru/page/omw>

 Реклама

УДК 669.1.013.5:69

Босния и Герцеговина

Замена фильтров на комбинате компании ArcelorMittal Zenica

Металлургическая компания ArcelorMittal Zenica заключила с компанией Ekorplant (Италия) контракт на сумму 4,9 млн. евро и начала монтаж новых фильтров в сталеплавильном цехе. Предполагается, что работы завершатся в начале 2019 г. При полной нагрузке система аспирации кислородного конвертера будет соответствовать требованиям местных и общеевропейских стандартов, обеспечивая улавливание выбросов оксида железа. Более 95 % всего объема отходящих газов будет улавливаться и очищаться в рукавном фильтре, при этом количество выбросов пыли не превысит 10 мг/м³ (при н. у.).

В начале 2017 г. компания уже вложила 4,2 млн. евро в новое оборудование по сокращению выбросов дыма и газов из коксовой батареи.

Китай

Организация совместного сервисного предприятия компании Primetals и группы Tangshan

Компании Primetals Technologies и HBIS Tangshan Iron and Steel Group (Tangsteel) организовали совместное предприятие Primetals Tangshan Technology Services Ltd. (PTTS) с головным офисом в Таншане.

Предприятие PTTS, начавшее свою деятельность 1 сентября 2017 г., призвано оказывать различные технологические услуги в сфере автономного обслуживания, ремонта оборудования, контроля технического состояния и эксплуатационной поддержки работы слябовых установок непрерывной разливки стали (УНРС) компании Tangsteel и

других заказчиков. Предприятие со штатом 400 сотрудников будет использовать технологии обслуживания и «ноу-хау» компании Primetals Technologies для дальнейшего повышения эффективности работы агрегатов и качества продукции.

Великобритания

Инвестиции компании Tata Steel в комбинат Port Talbot

Компания Tata Steel инвестирует порядка 33 млн. евро в свой комбинат Port Talbot, расположенный на юге Уэльса, с целью обеспечения будущего сталелитейной отрасли в регионе. Кислородный конвертер массой 500 т будет заменен на новый агрегат высотой 11 м, в котором за один цикл можно будет перерабатывать в сталь 330 т чугуна. Одновременно для снижения объема вредных выбросов в сталеплавильном цехе будут заменены тяжелые краны и смонтированы усовершенствованные вытяжные зонты и энергоэффективные приводы. На комбинате Port Talbot производятся высокомаржинальные марки стали, которые подвергаются дальнейшему переделу на британских заводах компании Tata Steel (для внутренних потребителей), а также на заводах в континентальной Европе и за ее пределами.

Компания Tata Steel планирует ряд дальнейших инвестиций в британские предприятия с целью повышения надежности цепочки поставок, обеспечения разработки и производства сталей с повышенными характеристиками и удовлетворения растущего спроса на стали для гибридных автомобилей и электромобилей, энергоэффективных зданий и сооружений, а также инновационных видов упаковки для пищевых продуктов. В начале

2017 г. на своем предприятии в Уэднесфилде компания Tata Steel уже представила новейшую в Великобритании автоматизированную сварочную линию, предназначенную для работы с автомобильным листом.

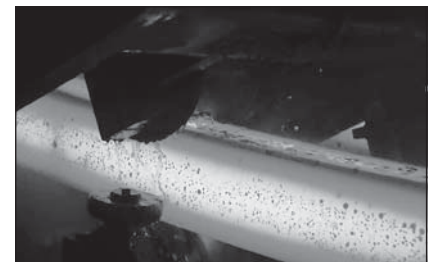
Индия

Расширение марочного сортамента на мини-заводе компании Star Wire

Компания Star Wire (India) Ltd., эксплуатирующая мини-завод с электродуговыми печами, выдала заказ на комбинированную (сортовую и блюмовую) УНРС для своего завода в Баллабгархе (в районе Дели), которая позволит ежегодно разливать от 30 до 60 тыс. т заготовки в зависимости от сортамента. Данный агрегат дополнит существующую линию разливки в слитки.

Целью данного проекта является оптимизация качества литой заготовки и выхода годного по всей производственной цепочке — от выплавки до готового проката. Процесс разливки полностью автоматизирован. Комбинированную УНРС компании Primetals Technologies планируется ввести в эксплуатацию до конца 2018 г.

Радиус установки составит 12 м, металлургическая длина — 20 м. УНРС предназначена для производства квадратной за-



Типовая роликовая проводка сортовой УНРС компании Primetals Technologies

Фото: Primetals Technologies

готовки сечением 145×145 и 195×195 мм, в будущем на ней можно будет разливать заготовки сечением до 350×350 мм. На агрегате можно разливать широкий марочный сортамент, включая жаростойкие аустенитные и мартенситные стали, инструментальные и штамповые стали, ферритные, мартенситные и аустенитные коррозионностойкие стали, а также другие специальные стали.

Компания Primetals Technologies отвечает за базовый, детальный и технологический инжиниринг, она поставит все разливочное оборудование, включая металлоконструкции, гидроагрегат, также вспомогательные системы — газорезку и сопутствующее оборудование. Агрегат также будет оснащен системой автоматизации уровня 2 и технологическими пакетами, включая кристаллизатор типа DiaMold, механизм качания DynaFlex, автоматическое устройство регулирования уровня металла LevCon и систему мягкого обжатия DynaGap, а также систему вторичного охлаждения Dynacs. В перечень поставок по контракту также входят: стопорный механизм, роликовые проводки, тянуще-правильная машина и устройство электромагнитного перемешивания.

В схему производства на заводе Star Wire Ltd. (India) входит производство слитков и агрегат электрошлакового переплава. Номенклатура продукции включает прокат из специальных сталей и поковки, отливки и слитки дляковки. Компания производит легированные стали для индийских и зарубежных автопроизводителей, аэрокосмической, энергетической и машиностроительной отраслей. Кроме того, компания Star Wire (India) располагает литейным цехом, производящим отливки из легированных и коррозионностойких марок (например, кожухи тур-

бин) массой до 80 т, преимущественно для нужд энергетического машиностроения.

Данный проект выполняет компания Primetals Technologies Austria GmbH совместно с ее филиалом Concast Ltd (India).

Мексика

Заказ на линию цинкования и нанесения покрытий от компании Tuasa

Сталелитейная компания Tuasa выдала заказ на поставку комбинированной линии цинкования и нанесения полимерных покрытий, которая войдет в состав комплекса листоотделки площадки в Орисаба, находящегося в данный момент на стадии строительства и пусконаладки. Компания Primetals Technologies строит линию, которая в декабре 2018 г. должна выпустить первые оцинкованные рулоны, а в марте 2018 г. — первые рулоны с полимерным покрытием.

В последние годы для выхода на рынок плоского проката были введены дополнительные производственные мощности, включая поставленную компанией Primetals Technologies электродуговую печь типа Quantum для выплавки стали. Вскоре будет введен в эксплуатацию литейно-прокатный комплекс типа Castrip, заказанный у консорциума с участием компании Primetals Technologies. Для отделки полового проката, производимого

на комплексе Castrip, компания Tuasa строит комплекс с правильно-растяжной машиной, линией травления, реверсивным станом холодной прокатки и комбинированной линией цинкования и нанесения полимерных покрытий. Компания Primetals Technologies отвечает за проектирование, поставку, строительство и надзор за пусконаладкой этой линии.

В перечень поставок входят: оборудование входной секции со сдвоенным разматывателем и системой уборки обрезки; сварочный агрегат ML21M с центрирующими приспособлениями на входной и выходной сторонах и вырубным прессом; горизонтальный шестиниточный накопитель с возможностью формирования петель длиной до 260 м; горизонтальная печь прямого нагрева с башенным охладителем; ванна для нанесения покрытия с заделом под ванны цинкования и предварительного расплавления; система удаления излишков покрытия с воздушными ножами типа Dynawire; дрессировочная четырехвалковая клеть с максимальным усилием прокатки 750 т; правильно-растяжная машина «сексто» с блоками противозгиба и участок химической обработки поверхности в потоке, предназначенный для пассивации и предварительного окрашивания с горизонтальной валковой машиной нанесения покрытия, газовой сушкой и водоохлаждаемыми валками.

В дальнейшем компания Primetals Technologies поставит все оборудование участка нанесения покрытия, включая S-образную машину нанесения грунтового покрытия с верхней и нижней головкой; S-образную машину нанесения защитного лака с двумя верхними и одной нижней головкой; печи для горячей сушки; водяные закалочные ванны и воздушную сушку для каждой секции грунтования



Экскаваторные работы на площадке компании Tuasa при строительстве комбинированной линии цинкования и нанесения полимерных покрытий
Фото: Primetals Technologies

и лакировки, а также систему рекуперативного сжигания. Байпасный участок обеспечивает переключение с режима комбинированного цинкования, с нанесением покрытия к режиму непрерывного цинкования, и обратно. Вертикальный накопитель на выходной стороне позволяет формировать петли длиной до 175 м; он оснащен подвижной тележкой, автоматизированной системой контроля поверхности (SIAS) и выходной секцией с электростатическим устройством промасливания, натяжной моталкой и всеми сопутствующими приспособлениями для выдачи, взвешивания и обвязывания рулонов. Завершают перечень поставок такие вспомогательные системы, как система электроснабжения, трансформаторы и система аварийного питания, кабельная разводка, водоподготовка и компрессорная станция. Комбинированная линия цинкования и нанесения покрытий будет оснащена системами автоматизации уровней 2 и 3.

Россия

ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»: выход на проектную мощность установок по вдуванию ПУТ

Группа НЛМК, являющаяся одним из ведущих интегрированных производителей стали в России и располагающая зарубежными активами, сообщила о выходе на проектную мощ-



Установка вдувания ПУТ на ПАО «НЛМК»
Фото: NLMK Group

ность установок вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) на доменных печах № 6 и 7 ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»). По данным ПАО «НЛМК», внедрение технологии вдувания ПУТ позволило снизить расход дорогостоящего кокса на 30 %, а природного газа — на 50–80 %, при этом затраты на выплавку чугуна снизились примерно на 5 %.

Установки вдувания ПУТ для печи № 6 мощностью 3,1 млн. т чугуна и печи № 7 мощностью 4,3 млн. т входят в пакетный контракт с компанией Paul Wurth, смонтировавшей это ресурсосберегающее оборудование на четырех ключевых агрегатах по выплавке чугуна на НЛМК. На печах № 4 и 5 установки вдувания ПУТ были введены в эксплуатацию еще в 2013–2014 гг.

Гарантийные испытания, проведенные вскоре на печах № 6 и 7, подтвердили расход ПУТ на 1 т чугуна, равный 160 кг/т. На предприятии ПАО «НЛМК» пылеугольное топливо используется в сочетании с природным газом. Технология вдувания со статическим распределением отличается низкими капиталовложениями и обеспечивает равномерное распределение ПУТ по фурмам. Само топливо производится в двух помольно-сушильных блоках. Контуры с самоинертизацией обеспечивают технологическую взрывобезопасность во время помола угля.

Швейцария

Новая линия термомеханической обработки на заводе компании Steeltec

В 2016 г. компания по производству калиброванной стали Steeltec из Эмменбрюкке (Швейцария), входящая в группу Schmolz

+ Bickenbach, приобрела линию для контролируемой термомеханической обработки сортового проката; стадия пусконаладки завершена. Агрегат поставила компания ITG Induktionsanlagen GmbH из Хиршхорна (Неккар).

Агрегат оснащен шестью среднечастотными преобразователями, использующими БТИЗ-технологии, что обеспечивает проведение сложных режимов обработки проката. Другой особенностью агрегата является возможность произвольной комплектации, заключающейся в том, что такие отдельные элементы оснастки, как нагревательные индукторы, изолирующие элементы, система дулирующей закалки или кассетные охлаждающие устройства, могут устанавливаться по выбору, чтобы добиться свойств материала, требуемых заказчиком. Особое внимание уделялось быстрой смене оснастки и гибкости агрегата, позволяющим производить небольшие партии продукции эффективным и экономичным образом. Агрегат также отличается возможностью сочетания различных элементов оснастки на входном и выходном участках термообработки.

В перечень поставок и оказываемых услуг, помимо собственно технологического агрегата, вошло оборудование для адьюстажа, охлаждения и очистки закалочных сред, а также система аспирации и очистки воздуха.



Этап пусконаладки новейшей линии термомеханической обработки прутков на заводе Steeltec завершён успешно
Фото: ITG Induktionsanlagen

В плане эффективности, безопасности и объема вредных выбросов агрегат находится на современном техническом уровне. Основу агрегата составляет участок деформации, поставленный технологическим партнером.

Сочетание прокатных клетей, произвольно выбираемых положений оснастки и десятки индивидуально регулируемых контуров закалки и отпуска создают платформу, в рамках которой компания Steeltec способна реализовать все заданные технологические процессы. Кроме того, возможны освоение новых перспективных технологий и оптимизация существующих без дооборудования агрегата.

Испания

Реконструкция слябовой УНРС № 2 на предприятии в Авилесе

На комбинате компании ArcelorMittal Asturias в Авилесе идет реконструкция двухручье-вой слябовой УНРС № 2, благодаря чему повысится качество штрипса и толстолистого проката. Агрегат позволит ежегодно разливать до 2,7 млн. т слябов толщиной 235, 300 и 365 мм, шириной от 800 до 2200 мм.



Слябовая УНРС для производства высокомаржинальных марок сталей на комбинате в Авилесе
Фото: SMS group

Максимальная ширина сляба будет увеличена с 1600 до 2200 мм, причем фундаменты и анкерные болты существующей УНРС № 2 не претерпят никаких изменений.

Машина будет полностью реконструирована от кристаллизатора до выходного участка, причем концепция криволинейного кристаллизатора сохранится. Несмотря на максимальную толщину сляба 365 мм, радиус 10,5 м также сохранится, а металлургическая длина увеличится с 33,2 до 36,7 м. Максимальная скорость разливки составит 1,6 м/мин. Возможность увеличения скорости разливки в будущем учитывали при проектировании системы струйного охлаждения. Агрегат будет снабжен кристаллизатором с системой дистанционного регулирования ширины и автоматической подстройкой конусности во время производственного цикла — без снижения скорости и с учетом разливаемой марки. После реконструкции гидравлический механизм позволит регулировать ход и частоту качания во время разливки. Разгибающий сегмент и сегменты горизонтального участка машины оснащаются системой оперативного регулирования межроликового зазора с зажимными цилиндрами, управляемыми по положению. В системах автоматизации используются модели уровня 2 X-Ract; система мониторинга обеспечивает контроль распределения температуры в корочке слитка.

В новой зоне вторичного охлаждения (ЗВО) используется водовоздушная смесь, расход которой регулируется по толщине, и система динамического контроля затвердевания, позволяющая рассчитать ход затвердевания слитка и управлять разными участками ЗВО в соответствии с заданными параметрами. Система динамического мягкого обжатия обеспечива-

ет нужное уплотнение сляба в конце жидкой лунки, что повышает качество макроструктуры. Контуры охлаждения кристаллизатора, машины и ЗВО будут полностью заменены, гидравлическая система реконструирована и расширена.

С помощью вспомогательной системы HD LASg концерна SMS group производятся замеры кристаллизатора и сегментов с протоколированием результатов, что позволит, с учетом склонности разливаемых сталей к трещинообразованию и различной толщины слябов, осуществлять более точную центровку роликовых проводок во избежание растрескивания слитка.

Заказ на печь с шагающими балками от компании Forjas Iraeta

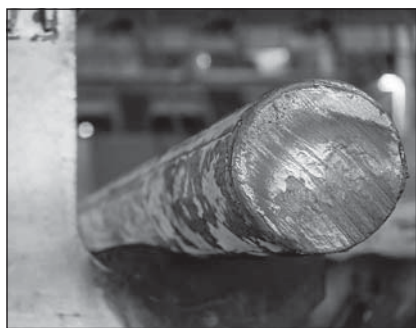
Компания Forjas Iraeta Heavy Industry S.L., входящая в группу GRI, заказала печь с шагающими балками производительностью до 30 т/ч, которая будет смонтирована перед существующим обжимным станом для производства фланцев. В печь будут загружаться квадратные заготовки с длиной грани от 200 до 500 мм и круглые заготовки диаметром от 300 до 700 мм; длина заготовок составляет от 3 до 5 м. Существующее оборудование будет сохранено, насколько это возможно, с учетом ограниченного пространства. Агрегат предназначен для работы с широким сортаментом при выполнении жестких требований к энергоэффективности, низким объемам выбросов и собственно работе печи.

Концерн SMS group отвечает за встраивание новой печи в существующий прокатный цех и средства автоматизации, а также доводку существующей водоподготовки в соответствии с требованиями, предъявляемыми к работе печи.

Чехия

Программы для управления кристаллизаторами на комбинате компании ArcelorMittal Ostrava

Крупнейшая сталелитейная компания Чешской Республики ArcelorMittal Ostrava, выпускающая 3 млн. т стали в год, заказала систему HD mold^{FO} (Fiber Optics (FO) — волоконная оптика) для использования на УНРС, разливающей круглую заготовку диаметром 350 и 400 мм. В перечень поставок концерна SMS group входят две гильзы кристаллизатора, каждая из которых оснащена двенадцатью оптическими волноводами. На каждом кристаллизаторе имеется 180 точек замера. Программное обеспечение HD mold^{FO} с вспомогательными функциями служит для защиты оборудования машины, улучшения показателей качества и выхода годного, а также поддержки при освоении новых марок стали. Компания SMS Concast поставит два новых кристаллизатора типа Convex, под-



Программы контроля за работой кристаллизатора заготовочной УНРС на комбинате ArcelorMittal Ostrava призваны повысить качество непрерывнолитой заготовки
Фото: SMS group

готовленных для использования системы HD mold^{FO}. Ввод системы в эксплуатацию планируется в 2018 г.

Поставляя систему HD mold^{FO}, концерн SMS group предлагает повышение эффективности обработки сигналов в режиме «он-лайн» благодаря использованию оптических волнопроводов. Плотность замеров на УНРС для длинномерной продукции, составляющая свыше 200 точек, существенно выше аналогичного показателя при использовании термодатчиков. Точки замера могут быть равномерно распределены по всей габаритной высоте кристаллизатора, а положение точек — выбраны произвольным образом. Система HD mold^{FO} обеспечивает оперативную визуализацию сигналов о локальной толщине корочки слитка и соответствующих толщинах жидкого и затвердевшего слоя шлакообразующей смеси. Кроме того, компания SMS Concast поставит ролики Concoq для 1-го сегмента, а также технологический пакет уровня 2 Dynamic COOL (работает в подключенном и автономном режимах) для оптимизации участков зоны вторичного охлаждения.

Турция

Ввод в эксплуатацию производства холоднокатаного листа на заводе компании Tosalı-Toyo

Сталепрокатная компания Tosalı-Toyo Çelik A.Ş. из Османье ввела в эксплуатацию новый комплекс холодной прокатки, в состав которого вошли совме-

щенная со станом тандем холодной прокатки линия травления, агрегат непрерывного отжига луженой жести и дрессировочный стан с двойным обжатием. Агрегат, поставленный компанией Primetals Technologies, предназначен для производства холоднокатаной луженой жести, оцинкованного листа и листа с лакокрасочным покрытием, поставляемых в основном за рубеж; часть продукции будет поставляться на внутренний рынок. Таким образом, компания Tosalı расширяет свои мощности в сегменте плоского проката.

На совмещенной со станом тандем холодной прокатки линии травления впервые в регионах Европы, Ближнего Востока и Северной Африки использована технология травления iBox, реализация которой требует наличия пяти шестивалковых клеток типа UCM с регулированием профиля бочки валков. Клетки оснащены приводом переменного тока с полностью цифровым управлением и быстродействующей гидравлической системой регулирования толщины полосы Нугор-Ф. Новая сверхсовременная система регулирования толщины обеспечивает стабильность толщины полосы с высокой точностью. Линия травления с прокатным станом рассчитана на ежегодное производство 1 млн. т высокомаржинальной холоднокатаной полосы и черной жести. Кроме того, данное оборудование позволяет повысить эффективность производства, выход годного и качество продукции. ЧМ

РАБОТА



ПРОЕКТ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА «РУДА И МЕТАЛЛЫ»

НОВЫЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ БЕСПЛАТНЫЙ ИНТЕРНЕТ-СЕРВИС ПО ПОИСКУ ПЕРСОНАЛА И ТРУДОУСТРОЙСТВУ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

<http://www.rudmet.ru/rabota>

Реклама

Уважаемые коллеги!

У металлургов была прекрасная традиция — из первого металла, выплавленного в печи, отливать памятные медали, которые затем раздавались гостям, приехавшим на торжественную церемонию. Такие медали, скорее всего, остались в личных коллекциях.

Журналы "Цветные металлы" и "Черные металлы" обращаются к участникам и гостям знаменательных событий с предложением передать медали в экспозицию "Кабинет медали" Государственного музея-усадьбы "Остафьево" — "Русский Парнас", где в настоящее время сосредоточена уникальная и крупнейшая коллекция, насчитывающая более 20 тыс. памятных медалей и свыше 40 тыс. монет из двухсот стран.

Коллекция таких медалей позволит организовать в музее "Остафьево" постоянно действующую выставку достижений черной и цветной металлургии СССР и России, наглядно показать на этом примере ее достижения и запечатлеть для будущих поколений славную историю памятной медали в русской металлургии. Это особенно актуально в преддверии приближающегося 100-летия СССР, образованного в 1922 году.

Немаловажно и то, что в "Остафьево", усадьбе Вяземских, неоднократно бывал весь цвет российской литературы XIX века, в том числе Пушкин, Мицкевич, Гоголь, Кюхельбекер, здесь около 200 лет назад Николай Михайлович Карамзин создавал

главный труд по истории нашей страны — "Историю Государства Российского". Здесь же, собственно, и был задуман "Горный журнал", который по праву считается лучшим и старейшим международным изданием по горно-металлургической тематике, — гордость нашей научно-технической периодики, без всякого преувеличения, наше национальное достояние.

Инициатором такого проекта будет Издательский дом "Руда и Металлы". Освещение хода его реализации планируется на страницах ведущих изданий горно-металлургического профиля в России и других странах СНГ, выпускаемых этим издательством.



Предложения и вопросы по передаче медалей просьба присылать по адресу rim@rudmet.ru

13-16 ноября 2018

Москва, ВДНХ, пав. 75

При поддержке:



Организатор:



24-я
Международная
промышленная выставка

МЕТАЛЛ ЭКСПО'2018



Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2018



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2018



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГК
МеталлТрансЛогистик'2018

www.metal-expo.ru

Оргкомитет выставки:
тел./факс +7 (495) 734-99-66

Реклама

Генеральный
информационный партнер:



Ежегодный
выставочный
аудит с 2006 г.

МС Металлоснабжение и сбыт