

Уважаемые читатели!

Примите самые искренние поздравления с Новым годом и Рождеством Христовым!

Пусть 2018 год принесет вам успехи в профессиональной деятельности, радость в жизни, творческий подъем, удачу во всех начинаниях, процветание в делах, поддержку друзей, коллег и партнеров!

Редакция Бюллетеня научно-технической и экономической информации «Черная металлургия» и коллектив института «Черметинформация» сделают все для создания надежного информационного фундамента ваших достижений.

Желаем крепкого здоровья, счастья, мира и благополучия.

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Основан в марте 1944 года
Выходит ежемесячно

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - Бессонов А.В., *канд.экон.наук*
Зам.главного редактора - Курганов В.А., *докт.техн.наук профессор*

Аксельрод Л.М., *канд.техн.наук*
Белов В.К., *канд. физ-мат.наук, доцент*
Близнюков А.С., *канд.техн.наук*
Бродов А.А., *канд.экон.наук*
Быховский Л.З., *докт.г-м.наук*
Веденеев А.В., *канд.техн.наук*
Гарбер Э.А., *докт.техн.наук, профессор*
Дунаев В.А., *докт.г-м.наук, профессор*
Золотухин Ю.А., *канд.техн.наук*
Касимов А.М., *докт.техн.наук, профессор*
Космацкий Я.И., *канд.техн.наук*
Лубе И.И., *канд.техн.наук*
Ляшенко В.И., *канд.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Муравьева И.Г., *докт.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Протасов А.В., *канд.техн.наук*
Сенаторов П.П., *канд.техн.наук*
Сивак Б.А., *канд.техн.наук, профессор*
Смирнов А.Н., *докт.техн.наук, профессор*
Страхов В.М., *канд.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Товаровский И.Г., *докт.техн.наук, профессор*
Тютюник С.В., *канд.техн.наук*
Филиппов Г.А., *докт.техн.наук, профессор*
Харитонов В.А., *канд.техн.наук*
Шешуков О.Ю., *докт.техн.наук, доцент*

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief- Bessonov A.V., *PhD (Econ)*
Deputy Editor-in-Chief-Kurganov V.A. *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Axel'rod L.M., *PhD (Tech)*
Belov V.K., *PhD (Tech), Assistant Professor Bliznyukov A.S., PhD (Tech)*
Brodov A.A., *PhD (Econ)*
Bykhovsky L.Z., *Higher Doctorate (Geology)*
Vedeneev A.V., *PhD (Tech)*
Garber E.A., *Higher Doctorate (Tech), Professor Dunaev V.A., Higher Doctorate (Geology), Professor Zolotukhin Yu.A., PhD (Tech)*
Kasimov A.M., *Higher Doctorate (Tech), Professor Kosmatsky Ya.I., PhD (Tech)*
Lube I.I., *PhD (Tech)*
Lyashenko I.I., *PhD (Tech), Senior Researcher Murav'eva I.G., Higher Doctorate (Tech), Senior Researcher Protasov A.V., PhD (Tech)*
Senatorov P.P., *PhD (Tech)*
Sivak B.A., *PhD (Tech), Professor Smirnov A.N., Higher Doctorate (Tech), Professor Strakhov V.M., PhD (Tech), Senior Researcher Tovarovsky I.G., Higher Doctorate (Tech), Professor Tyutyunik S.V., PhD (Tech)*
Filippov G.A., *Higher Doctorate (Tech), Professor Kharitonov V.A., PhD (Tech)*
Sheshukov O.Yu., *Higher Doctorate (Tech), Assistant Professor*

Редактор - Смильтина В.В.
Ведущие редакторы разделов - Бухова Л.М., Зиновьева Н.Г. Корректор - Власова Н.А.
Компьютерная верстка - Яшина Н.Н., Галахова А.Г.

Контакты по вопросам подписки, публикации статей и рекламы: Бессонов Анатолий Васильевич +7(495) 719-07-38; +7-903-513-56-39
bessonov@chermetinfo.com

Контакты по вопросам доставки: +7(499) 124-49-09 Бухова Людмила Михайловна

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

2017

ВЫПУСК 12 (1416)
МОСКВА

Основан в марте 1944 г.
Выходит 1 раз в месяц

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

**БЮЛЛЕТЕНЬ
научно-технической
и экономической
информации**

СОДЕРЖАНИЕ

Тигунов Л.П., Пикалова В.С., Быховский Л.З.
Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая
база: состояние, использование, перспективы развития 3

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство

Кармазин В.В. Оценка потенциальной обогатимости
железородного сырья на основе параметров раскрытия
минералов..... 11

Аглодоменное производство

Фролов Ю.А., Каплун Л.И. Состояние и перспективы
развития технологии производства агломерата. Часть 9.
Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном
охладителе..... 18

Дмитриев А.Н., Петухов Р.В. Подготовка к доменной
плавке титаномагнетитовых концентратов с
различным содержанием диоксида титана..... 27

Сибатуллин С.К., Савинов А.С., Харченко А.С.,
Девятченко Л.Д. Выявление источников
неравномерного распределения компонентов
железородной шихты, загружаемой в доменную печь 30

Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В.,
Короткова Л.Н. Исследование температуры
самовозгорания металлизированного продукта..... 36

Сталеплавильное производство

Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Молчанов Л.С.,
Вакульчук В.В., Юшкевич П.О., Чубин К.И., Чубин
М.К. Картина продувки конвертерной ванны с
использованием двухъярусной кислородной фурмы..... 39

Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Голодова М.А.
Исследование возможности получения ферромарганца
с пониженным содержанием углерода и фосфора из
карбонатных марганцевых руд..... 46

Прокатное производство

Тимофеева М.А., Гарбер Э.А. Улучшение
плоскостности холоднокатаных стальных полос путем
воздействия на нестабильные параметры технологии
горячей и холодной прокатки 51

Зубов С.П., Придеин А.А., Прокопенко Л.В.,
Синдянов Н.И. Разработка и освоение производства
листового проката из стали повышенной
огнестойкости класса прочности С355П,
предназначенной для строительных конструкций 55

Трубное производство

Науменко В.В., Багмет О.А., Баранова О.А. Влияние
трубного передела на изменение микроструктуры и
механических свойств рулонного проката системы
микролегирования V-N..... 59

Металлургическое оборудование и литейное производство

Еронько С.П., Ткачев М.Ю., Смирнов Е.Н., Скляр В.А.
Разработка системы выгрузки извести из шахтной
обжиговой печи..... 66

Колокольцев А.В., Потапов М.Г., Михайлов А.В.,
Потапова М.В., Макарова И.В. Разработка нового
состава специального чугуна для отливок,
работающих в условиях абразивного и ударно-
абразивного износа 70

Сидоров В.А. Особенности стационарных систем
вибрационного контроля металлургических машин..... 73

Экология и ресурсосбережение

Просветов И.В., Коршиков В.Д., Чмырев И.Н.
Влияние длины диффузионного факела на
теплоперенос при обжиге сыпучих во вращающейся
печи 84

Новости зарубежной периодики 87

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 90

ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ ... 98

Аннотации к статьям 102

Статистика 112

Содержание Бюллетеня за 2017 г. 125

CONTENTS

Tigunov L.P., Pikalova V.S., Bykhovskiy L.Z. The Alloying Metals in Russia. The Mineral and Raw Materials Base in Russia: the Status, Utilization, Prospects for the Development.....	3
---	---

AT ENTERPRISES AND INSTITUTES

The Ore-Mining Industry

Karmazin V.V. The Evaluation of the Potential Washability of the Iron Ore Raw Materials on the Basis of the Mineral Breaking-down Parameters.....	11
---	----

The Sintering and Blast Furnace Processes

Frolov Yu.A., Kaplun L.I. The Status and Prospects for the Development of the Technology for Manufacturing the Sinter. The Part 9. The Analysis of the Process of Cooling the Sinter in the Linear Cooler.....	18
--	----

Dmitriev A.N., Petukhov R.V. The Preparation for the Blast Furnace Heat of the Titanomagnetite Concentrates with the Various Contents of the Titanium Dioxide.....	27
--	----

Sibagatullin S.K., Savinov A.S., Kharchenko A.S., Devyatchenko L.D. Revealing the Sources of the Non-Uniform Distribution of the Components of the Iron Ore Charged into the Blast Furnace.....	30
---	----

Timofeeva A.S., Nikitchenko T.V., Fedina V.V., Korotkova L.N. The Investigation into the Temperature of the Spontaneous Ignition of the Iron-Rich Product.....	36
--	----

Steelmaking

Chernyatevich A.G., Sigarev E.N., Molchanov L.S., Vikal'chuk V.V., Yushkevich P.O., Chubin K.I., Chubin M.K. The Picture of Blowing the Bath of the Basic Oxygen Furnace with the Use of the Double-Deck Oxygen Lance.....	39
--	----

Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Golodova M.A. The Investigation into the Opportunity for Producing the Ferromanganese with the Decreased Contents of the Carbon and Phosphorus from the Carbonate Manganese Ores.....	46
---	----

Rolling Mill Practice

Timofeeva M.A., Garber E.A. The Improvement in the Flatness of the Cold-Rolled Strips by means of the Action on the Non-Stable Parameters of the Hot and Cold Rolling Technology.....	51
---	----

Zubov S.P., Pridein A.A., Prokopenko L.V., Sindyanov N.I. The Development and Mastering the Production of the Rolled Sheet Products from the Steel with the Improved Flame Resistance and with the C355P Strength Class, which is Designed for the Building Constructions.....	55
--	----

Production of Pipes and Tubes

Naumenko V.V., Bagmet O.A., Baranova O.A. The Influence of the Tubular Processing on the Variation of the Microstructure and Mechanical Properties of the Coiled Stock with the V-N Microalloying System.....	59
---	----

Metallurgical Equipment and Foundry Practice

Eron'ko S.P., Tkachev M.Yu., Smirnov E.N., Sklyar V.A. The Development of the Outloading System of the Lime from the Shaft Firing Furnace.....	66
--	----

Kolokol'tsev A.V., Potapov M.G., Mikhailov A.V., Potapova M.V., Makarova I.V. The Development of the New Composition of the Special Cast Iron for the Castings Operated under the Abrasive and Impact-Abrasive Wear Conditions.....	70
---	----

Sidorov V.A. The Special Features in the Steady-State Systems for the Vibration Monitoring of the Metallurgical Machinery.....	73
--	----

Resource Saving and Ecology

Prosvetov I.V., Korshikov V.D., Chmyrev I.N. The Influence of the Length of the Diffusion Flame on the Heat Transfer in the Process of Firing the Granular Materials in the Rotary Furnace.....	84
---	----

The News of the Foreign Periodicals.....	87
--	----

EXPRESS INFORMATION.....	90
--------------------------	----

EXHIBITIONS, CONFERENCIES, SYMPOSIA.....	98
--	----

The Abstracts for the Articles.....	102
-------------------------------------	-----

Statistics.....	112
-----------------	-----

The Contents of the Bulletin in 2017.....	125
---	-----

INHALT

Tigunov L.P., Pikalova W.S., Bychowski L.S. Legierungsmetallen Russlands. Rohstoff- und Rohstoffbasis: Zustand, Nutzung, Entwicklungsperspektiven.....	3
--	---

IN BETRIEBEN UND INSTITUTEN

Erzbergbau

Karmasin W.W. Schätzung der potenziellen Anreicherungs-fähigkeit von Eisenerz auf Basis der Parameter der Offenlegung von Mineralien.....	11
---	----

Sinter- und Roheisenerzeugung

Frolov Ju.A., Kaplun L.I. Stand und Perspektiven der Entwicklung der Technologie der Sinterherstellung. Teil 9. Analyse des Abkühlprozesses des Sinters auf linearen Kühler.....	18
--	----

Dmitriev A.N., Petuchow R.W. Vorbereitung zum Hochofenschmelzen von Titanomagnetitkonzentraten mit unterschiedlichem Titandioxidgehalt.....	27
---	----

Sibagatullin S.K., Sawinow A.S., Chartschenko A.S., Dewjattschenko L.D. Identifizierung von Quellen ungleicher Verteilung von Komponenten der Eisenerzgicht, die in den Hochofen geladen werden.....	30
--	----

Timofeewa A.S., Nikittschenko T.W., Fedina W.W., Korotkova L.N. Untersuchung der Selbstentzündungstemperatur des metallisierten Produktes.....	36
--	----

Stahlerzeugung

Tschernjatewitsch A.G., Sigarew E.N., Moltschanow L.S., Wakultschuk W.W., Juschkewitsch P.O., Tschubin K.I., Tschubin M.K. Bild das Verblasen des Converterbades unter Verwendung einer zweistufigen Sauerstoffanlage.....	39
--	----

Roshichina I.D., Nochrina O.I., Golodowa M.A. Untersuchung der Möglichkeit, Ferromangan mit reduziertem Gehalt an Kohlenstoff und Phosphor aus Carbonat-Manganerzen zu gewinnen.....	46
--	----

Walzbetrieb

Timofeewa M.A., Garber E.A. Verbesserung der Ebenheit von kaltgewalzten Stahlbändern durch Beeinflussung der instabilen Parameter der Warm- und Kaltwalztechnologie.....	51
--	----

Subow S.P., Pridein A.A., Prokopenko L.W., Sindjanow N.I. Entwicklung und Beherrschung des Blechs aus Stahl mit erhöhter Feuerwiderstandsfähigkeit der Festigkeitsklasse C355P für den Bau von Gebäuden.....	55
--	----

Rohrherstellung

Naumenko W.W., Bagmet O.A., Baranova O.A. Auswirkungen der Rohrherstellung auf die Veränderung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften von gehaspeltes Walzgut mit V-N Mikrolegierungssystemen.....	59
--	----

Hüttenausrüstungen und Gießerei

Eronko S.P., Tkatschew M.Ju., Smirnow E.N., Sklyar W.A. Entwicklung des Ausladungssystems von Kalk aus dem Schachtröstofen.....	66
---	----

Kolokolzew A.W., Potapow M.G., Michailow A.W., Potapowa M.W., Makarowa I.W. Entwicklung der neuen Zusammensetzung von Sondergusseisen für Gussteile, die unter Abrasiv- und Schlag-Abrasivverschleiß arbeiten.....	70
--	----

Sidorow W.A. Besonderheit von stationären Systemen der Schwingungskontrolle von metallurgischen Maschinen.....	73
--	----

Ressourceneinsparung und Ökologie

Prosvetow I.W., Korschikow W.D., Tschmyrew I.N. Einfluss der Diffusionsfackellänge auf die Wärmeübertragung beim Rosten der Schüttguten im Drehrohrofen.....	84
--	----

Nachrichten der ausländischen Zeitschriften.....	87
--	----

EXPRESS-INFORMATIONEN.....	90
----------------------------	----

AUSSTELLUNGEN, KONFERENZEN, SYMPOSIEN.....	98
--	----

Anmerkungen zu den Artikeln.....	102
----------------------------------	-----

Statistik.....	112
----------------	-----

Inhalt des Bulletins für das Jahr 2017.....	125
---	-----

ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ РОССИИ. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА: СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*Л. П. ТИГУНОВ, В. С. ПИКАЛОВА, pikalova@yims-geo.ru; Л. З. БЫХОВСКИЙ, д-р геол.-мин. наук
(ФГБУ “Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского”)*

Железные руды и продукты их переработки еще многие десятилетия будут одними из основных для человеческого сообщества, несмотря на рост использования алюминия, титана, углепластиков, различных наноматериалов.

В 2010 г. в мире было добыто более 2,3 млрд т железных руд, выплавлено около 1,4 млрд т стали. В 2015 г. производство стали достигло 1,5 млрд т, в том числе легированных марок — 49,76 млн т. Основные легирующие металлы: марганец, хром, никель, ванадий, ниобий, молибден, вольфрам, стронций.

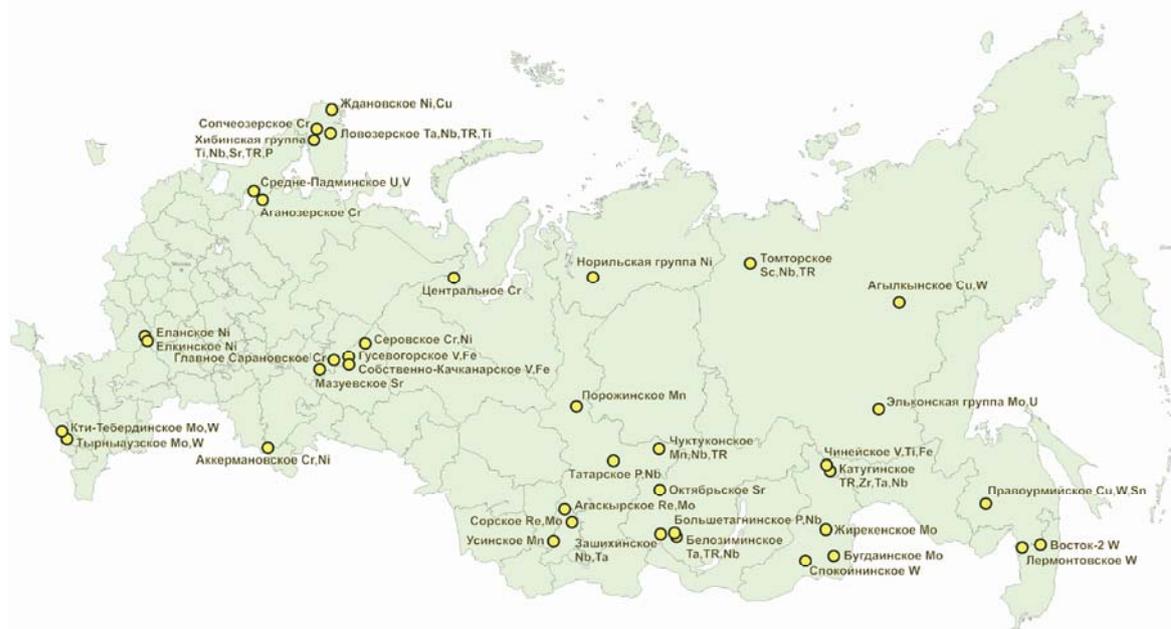
Еще в 1992–1999 гг. выпуск легированных сталей в мире составлял 17 млн т (без стран СНГ), или 2,5 % от производства стали в мире (680 млн т): в странах ЕС — 4,6 %, в Японии — 3,1 %, в США — 11,9 %, в России — всего 0,02 % (в 1990 г. — 9,5 %).

После 1991 г. рынок России заполнился импортными сортами легированной стали: к 2000 г. видимое потребление проката из легированных товарных руд составило 90,8 тыс. т, в 2015 г. — 93,1 млн т, что на 90 % удовлетворило потребности предприятий страны. Дефицит по-прежнему испытывали металлургические предприятия Урала (21,6 млн т), в том числе крупнейший Магнитогорский металлургический комбинат

(ММК). Был остановлен ферросплавный (ферромолибденовый) завод в Читинской области; ферромолибден производства Сорского завода ферросплавов (как и ранее молибденовый концентрат) экспортировался в Китай.

По данным ВТО, для экономически развитого государства минимальное потребление стали должно составлять 400 кг на человека; для России это около 60 млн т/год. Количество используемых легированных сталей (120 тыс. т после 1990 г.) — более важный показатель, чем производство стали.

Список легирующих элементов велик (Mn, Cr, Ni, V, Mo, W, B, Sr, Ti, Nb, PЗМ, SiO₂ и др.): одни используются для легирования сталей в значительном количестве (до десятков кг/т стали), другие — в небольшом или минимальном объеме (до десятков г/т стали). В мире нарастают объемы прямого легирования стали, особым вниманием пользуются природнолегируемые руды, что позволяет экономить дорогие ферросплавы. В России известны железные руды, природнолегируемые хромом, марганцем, никелем, кобальтом, ниобием, ванадием, титаном и другими металлами. Российские месторождения основных легирующих металлов приведены на рисунке.



Основные месторождения легирующих металлов России

Отечественная минерально-сырьевая база легирующих металлов беспокойства не вызывает. Озабоченность вызывает внутренний спрос и проблемы импорта-экспорта. В отличие от стран дальнего зарубежья в России крайне недостаточное внимание уделяется природнолегируемым рудам и производственным отходам обогащения руд и металлургического передела концентратов.

Марганец. Государственным балансом запасов учтено 29 месторождений марганцевых руд, из которых 27 — с балансовыми запасами. Запасы руд промышленных категорий А + В + С₁ составляют 137,8 млн т, категории С₂ — 92,35 млн т, прогнозные ресурсы категории Р₁ — 232 млн т [1].

Добыча из недр в 2015 г. составила всего 9 тыс. т, в 2016 г. добыча не велась, производство товарных руд отсутствует. Марганец — важнейший легирующий металл [2]: в 2010 г. импорт товарных руд (28–42 % Mn) составил 968 тыс. т, в том числе 519 тыс. т из ЮАР, 203 тыс. т из Казахстана.

Кроме товарной руды Россия импортирует ферро- и ферросиликомарганец: в 2015 г. импортировано 277 тыс. т ферросплавов марганца (~250 тыс. т ферросиликомарганца), в том числе из Украины 139 тыс. т. Также Россия, в отличие от СССР, не производит металлический марганец — импорт составил 50 тыс. т, в том числе 47 тыс. т из Китая, 3 тыс. т из Украины.

В стране детально разведаны два крупных месторождения марганцевых руд — Усинское (127,7 млн т) в Кемеровской области (владелец ЗАО «ЧЕК-СУ.ВК») и Порожинское (29,5 млн т) в Красноярском крае (нераспределенный фонд). Проектная добыча Усинского ГОКа по сырой руде составляет 1,4 млн т/год (800 тыс. т/год марганцевых концентратов): предусмотрено строительство завода в Республике Хакасия для получения металлического марганца в количестве 80 тыс. т/год (производство в СССР — 14 тыс. т) [3].

Балансовые запасы девяти месторождений марганцевых руд Уральского региона категорий А + В + С₁ составляют 41,7 млн т, 98,8 % из них представлено карбонатными рудами (20–26 % Mn), основным минералом которых является родохрозит (42–46 % Mn).

Особенность минерально-сырьевой базы марганца России заключается в том, что около трех четвертей ее представлено карбонатными рудами, в значительном количестве встречаются силикатно-карбонатные руды. ВИМСом в разные годы (2005–2015 гг.) разработана технология получения из них кондиционных ликвидных продуктов высокого качества — электролитического и химического диоксида марганца, марганца металлического, сульфата марганца,

чистого по примесям марганцовистого кальцитового продукта (руд Усинского, Тынынского, Утхумского и других месторождений).

Силикатно-карбонатные руды установлены в породах вскрыши эксплуатируемого золоторудного Хаканджинского месторождения (Магаданская обл.), железорудных Кимканского, Сутарского и Костенчинского месторождений, на базе которых строится ГОК производительностью 20 млн т/год сырой руды. В породах вскрыши Озерного месторождения полиметаллов (Республика Бурятия) подсчитано 120 млн т сидеритовых марганецсодержащих руд (5–8 % Mn).

На разведываемом Чуктуконском ниобий-редкоземельном месторождении (Красноярский край) содержание марганца составляет 10–15 % MnO (7–10 % Mn). В Воронежской области выявлено Хоперское месторождение окисленных (окисленных) руд марганца с содержанием металла 22–26 %. Геологоразведочными работами в Финском заливе выявлены и оценены железомарганцевые конкреции (с фосфором).

ФГБУ ВИМС совместно с АО ВНИИХТ выполнены опытно-методические работы по скважинному подземному выщелачиванию марганца из карбонатных руд Ивдельского и Марсятского месторождений. Из продуктивных растворов получен искусственный родохрозит с содержанием марганца 50–52 % (в природном — 42,15–43,85 % Mn).

На Ижорском металлургическом заводе выполнены пирометаллургические плавки промышленных проб железомарганцевых образований Финского залива: получены фосфорсодержащий чугун и марганецсодержащий шлак (36–37 % Mn), из которого выщелачиванием получены ликвидные марганцевые продукты.

Доменные и конвертерные шлаки Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) в Свердловской области содержат марганец. Тульский металлургический завод «Тулачермет-Ванадий» приобретает на НТМК ванадиевый шлак (18–26 % V₂O₅), из которого выщелачиванием получают ликвидные марганцевые продукты.

Ключевский ферросплавный завод при производстве ферросиликомарганца (FeSiMn — 65,2 % Mn, 26 % Fe, 16,8 % SiO₂, 0,26 % P) из окисленных марганцевых руд получает шлак с содержанием 12 % Mn, 43 % SiO₂, 0,007 % P. На Косогорском металлургическом заводе (Тульская обл.) выплавляется доменный ферромарганец: шлаки содержат 10–15 % MnO. ФГБУ ВИМС выполнены лабораторные технологические исследования: из шлаков получены концентраты, содержащие более 36 % Mn.

Таким образом, объективная оценка ресурсов марганца России показывает полную возможность отказа от импорта продуктов марганца (1,2

млн т концентрата) и его товарных руд и полного удовлетворения предприятий страны отечественными рудами и производственными отходами. Например, Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЗСМК) ежегодно импортирует из Казахстана 120 тыс. т железомарганцевой товарной руды с содержанием 26–28 % Mn и 30–32 % Fe_{общ}. При этом в Кемеровской области выявлено Кайгадатское месторождение железомарганцевых руд (10–22 % MnO), которые прошли успешные испытания на Кузнецком металлургическом комбинате и ЗСМК (пробы массой до 50 т). Ресурсы руд месторождения превышают 150 млн т.

Хром. Государственным балансом России учтены 25 месторождений хромовых руд, в том числе 24 коренных и одно россыпное (валунчатые руды в Пермской области). Запасы хромитов промышленных категории составляют 17,65 млн т, категории C₂ — 32,65 млн т. Самым крупным по запасам является Аганозерское месторождение в Республике Карелия — 26,6 млн т (C₁ + C₂) с содержанием 22,65 % Cr₂O₃. На втором месте — Сопчеозерское месторождение в Мурманской области с балансовыми запасами руд 9,5 млн т при содержании 25,68 % Cr₂O₃. Запасы этих месторождений составляют 71,8 % балансовых запасов хромовых руд России. Добыча же осуществляется на месторождении Центральное в Ямало-Ненецком автономном округе (309 тыс. т руды с содержанием 35,47 % Cr₂O₃) [4], в Пермском крае на Главном Сарановском месторождении (123 тыс. т) и из россыпей (18 тыс. т валунчатых руд), из мелких месторождений Челябинской и Свердловской областей было добыто 21 тыс. т хромовых руд. Суммарно добыча в 2015 г. составила 471 тыс. т. В последние 10 лет добыча хромовых руд последовательно снижалась: в 2005 г. — 780 тыс. т, 2008 г. — 733 тыс. т, в 2011 г. — 585 тыс. т, в 2014 г. — 476 тыс. т, в 2015 г. — 471 тыс. т [1].

Выпуск феррохрома из концентратов (503 тыс. т) в 2015 г. составил 290 тыс. т (Серовский завод ферросплавов, Челябинский электрометаллургический комбинат, Ключевский завод ферросплавов, Тихвинский завод по выпуску чардж-хрома). Выпуск алюмотермического хрома чистотой 97–99 % достиг 16 тыс. т, выпуск электролитического хрома (чистотой 99,99 %) — 55 тыс. т.

Потребности России в феррохроме оцениваются в 600 тыс. т. Из выплавленных 290 тыс. т феррохрома (2015 г.) экспортировано 223 тыс. т, т. е. для внутреннего потребления оставалось всего 67 тыс. т. А между тем Россия импортировала в 2015 г. 871 тыс. т товарной хромитовой руды — 750 тыс. т из Казахстана, 121 тыс. т из Турции и ЮАР. Это один из парадоксов России.

Подземная добыча на Центральном месторождении в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) может дать 1–1,2 млн т/год руды, содержащей 31–32 % Cr₂O₃. На месторождении Западное (ЯНАО) с запасами руды 2,9 млн т (39,07 % Cr₂O₃) добыча руды планируется в объеме 200 тыс. т/год (~80 тыс. т концентрата), на Южно-Сарановском (2,86 млн т руды) — 250 тыс. т руды (~80 тыс. т концентрата). Таким образом, ввод в эксплуатацию этих трех месторождений позволит добывать 1,5–1,6 млн т руды и получать 700–800 тыс. т концентрата.

На северо-западе Читинской области в процессе поисково-съёмочных работ масштаба 1:50000 в зоне БАМ было выявлено Шаманское месторождение хромитов. Хромиты сопровождаются вкрапленными рудами Cu–Ni состава (халькопирит, пентландин). Ресурсы хромитов категории P₁ определены в 50 млн т (категории P₂ — 25 млн т с опробованием коренных обнажений).

На Чукотке сотрудниками ВСЕГЕИ выявлены бедные (10–15 % Cr₂O₃) хромитовые руды с крупными ресурсами категории P₃. В Красноярском крае при опробовании Вороговской структуры после открытия Порожинского месторождения марганца в ее Западном крыле закартированы массивы ультраосновных пород с проявлениями хромитов (содержание в штучных пробах 28–37 % Cr₂O₃).

В Свердловской области Орско-Халиловский металлургический завод работает на железохром-никелевых рудах Аккермановского месторождения. По техническим условиям завода содержание железа в рудах на плавку не должно быть меньше 37 %, Cr₂O₃ — не более 1,4 %, содержание Ni (NiO) не лимитируется. В шлаках содержание Cr₂O₃ составляло 23–36 %. На рудном складе хранится более 23 млн т руды, содержащей 36 % Fe_{общ}, 1,66 % Cr₂O₃. ФГБУ ВИМС в 2016 г. завершены работы по доизучению природнолегированных хромом (никелем, кобальтом) железных руд Серовского месторождения. Запасы руд в контуре карьера — 466,7 млн т (категорий C₁ + C₂ — более 900 млн т), они содержат 7,9 млн т металлического хрома, за контуром карьера — 166,9 млн т железных руд с 2,4 млн т металлического хрома. Обогащением руд содержание Fe_{общ} повышено до 52 %, Cr₂O₃ — до 3,2 %, что энергетически неприемлемо для металлургического процесса. В технико-экономическом обосновании рассмотрен вариант использования руд без обогащения, что подтверждено работами Института им. Бардина.

Особого внимания заслуживают отходы металлургического производства — шлаки и шламы ферросплавных заводов и металлургических комбинатов [5].

Таким образом, объективная оценка состояния хромовой проблемы свидетельствует о возможности полного удовлетворения отечественных предприятий ликвидными продуктами хрома и отказе от их импорта.

Никель. Государственным балансом запасов учтены 59 месторождений коренных руд (14 из них имеют только забалансовые запасы) и 3 техногенных месторождения [1].

Геологоразведочные и добычные работы проводятся в Красноярском крае — в Норильском районе, в Западном Саяне, где разведаны Кингашское и Верхнекингашское месторождения сульфидных руд. В них заключено около 8 % запасов никеля России, руды бедные — содержат 0,41 и 0,46 % Ni соответственно. В Норильском районе разведаны месторождения сульфидных руд — Масловское и Черногорское с содержанием никеля 0,35 %.

Запасы никеля в месторождениях Красноярского края превышают 73 % общих запасов страны. Запасы месторождений Мурманской области составляют около 14 %. Добыча руды из недр в 2015 г. составила 309,4 тыс. т, производство первичного никеля — 231,2 тыс. т.

Россия по запасам никеля находится на втором месте после Индонезии: основу минерально-сырьевой базы никеля в нашей стране составляют сульфидные руды, в Индонезии — латеритные руды. В России латеритные (силикатные никель-кобальтовые) руды имеют подчиненное значение, все запасы их сосредоточены в месторождениях Урала, среднее содержание никеля находится на уровне 0,6–0,8 % (на месторождениях Челябинской области содержание никеля составляет около 1,0–1,2 %).

Медно-никелевые сульфидные руды разведаны на месторождении Кун-Манье в Амурской области, на месторождении Шануч в Камчатском крае. На Чинейском месторождении (участок Рудный) разведаны богатые сульфидные медно-никелевые руды с платиноидами и золотом. В Воронежской области сульфидные медно-никелевые руды с кобальтом вкрапленного типа вскрыты на глубоких горизонтах Эртельской металлогенической зоны: на Еланском месторождении руды содержат 1,41 % Ni, на Елкинском — 0,85 %. По ресурсам металлов объекты относятся к крупным [6].

Не оценены должным образом силикатные Ni-Co руды Архангельской области, Алтайского края, Вороговской структуры в Красноярском крае и других районов страны.

В мире сохраняется негативная ценовая тенденция: цены на никель уменьшились на 30 % по сравнению с 2009 г. Относительно низкий спрос на никель привел к тому, что Россия в 2015 г. экспортировала 225,8 тыс. т первичного никеля. В то же время в страну импортировано 30,2 тыс. т

никельсодержащих концентратов из ЮАР (в 2013–2014 гг. — по 31 тыс. т). Импорт необработанного никеля составил всего 0,9 тыс. т (в 2014 г. — 2,2 тыс. т).

Российские продуценты никеля обеспечены собственным сырьем на долгосрочный период. Исследованиями установлен никель в нефти, битумах, углистых сланцах, в производственных отходах ГРЭС, в золошлаковых отвалах, в шлаках и шламах ферросплавных заводов (в шлаках ГРЭС — 2–3 %, что сравнимо с богатыми рудами месторождений Норильского района).

Ванадий — высокоэффективный легирующий металл, применяемый для выплавки стали, в производстве различных сплавов, широко используется в мировой черной и цветной металлургии. Основное количество ванадия используется при выплавке высококачественных сталей: даже небольшие его добавки в низколегированные конструкционные стали (десятые–сотые доли процента) существенно увеличивают их прочность, долговечность и позволяют снизить расход металлов [7].

Мировое потребление ванадия в конце XX в. достигло 110 тыс. т, в России оно все годы колебалось в диапазоне 30–45 тыс. т/год.

Основным источником ванадия являются титаномагнетитовые руды, содержащие от 0,05 до 0,5 % V_2O_5 и выше: за рубежом при содержании пентаоксида более 1 % руды считаются ванадиевыми. Благодаря рациональному использованию титаномагнетитовых руд (железо-титан-ванадиевых) Гусевогорского месторождения Россия занимает ведущее положение в мире вместе с ЮАР и Китаем. При добыче руд на Качканарском ГОКе в количестве 58 млн т/год из недр извлекается около 87 тыс. т V_2O_5 . Железо-титано-ванадиевый концентрат (~10 млн т) содержит 63 тыс. т V_2O_5 (извлечение V_2O_5 73 %). Титано-магнетитовые руды природнолегированы ванадием, титаном, скандием, которые переходят в чугуны и доменный шлак (TiO_2 — 31–36 %, V_2O_5 — 10–11 %, Mn — 5–7 %, Cr — 3–5 %, Sc — 40–50 г/т, Ga — 70–60 г/т) [8].

В конвертере получают легированную ванадием сталь и шлак (V_2O_5 — 26 %, TiO_2 — 10–12 %, Mn — 5–10 %, Cr — 3–5 %, Ga — 70–50 г/т, Sc — 40–50 г/т) [9]. Шлак практически является бедным феррованадием, он наряду со шлаком из ЮАР является лучшим в мире по содержанию V_2O_5 . Доменный шлак накапливается, конвертерный частично реализуется (Серовскому металлургическому, Серовскому ферросплавному заводам, заводу “Тулачермет-Ванадий” и др.). На последнем из конвертерного шлака получают ряд ликвидных продуктов ванадия и марганца. Исследования Уральского института металлов УрО РАН показали, что конвертерный шлак при плавке титаномагнетитовых концентратов Чи-

нейского месторождения может содержать 37–41 % V_2O_5 [10].

Самые богатые ванадием природные руды находятся в месторождениях Онежской группы (Республика Карелия): здесь детально разведано месторождение Средняя Падма, в рудах которого содержание V_2O_5 составляет 2,38 %; в группу входят богатые ванадием (до 4,0 % V_2O_5) проявления Царевское, Осеннее, Весеннее. Рудный минерал (ванадиевый) — роскоэлит. Аналоги в мире отсутствуют, месторождения не осваиваются.

Другой крупный источник получения ванадия в больших масштабах — природные битумы и продукты переработки нефти — мазут, производство которого в России на всех нефтеперерабатывающих заводах превышает 70 млн т ежегодно. Кроме того, промышленный интерес представляют шламы ГРЭС, работающих на мазуте, которые содержат 10–12 % V_2O_5 и 2–3 % NiO. На ГРЭС накапливается от 15 до 30 тыс. т (и больше) шламов [11]. Отметим, что ванадий токсичен и предприятия платят налог за вред окружающей среде. Для ликвидации такого вреда шламы захоранивают в траншеях (в Республике Башкортостан “закопано” более 80 тыс. т шламов, это более 8 тыс. т V_2O_5 и более 2 тыс. т NiO). Мазут, в цене которого не учитываются ни ванадий, ни никель, в большом объеме экспортируется.

В углистых и углисто-кремнистых сланцах разных районов России (и Казахстана) содержится от 1 до 1,9 % V_2O_5 , от 0,2 до 0,4 % NiO, Cu, Mo, U, P_2O_5 . Сотрудниками ИМГРЭ разработана технология извлечения (выщелачиванием) ванадия из таких сланцев.

Ванадий учтен Государственным балансом России в 16 месторождениях: ~50 % запасов в рудах Гусевогорского, Собственно-Качканарского и Чинейского (~30 %) месторождений, в 8 месторождениях бокситов (3,9 %), в рудах Средне-Падминского месторождения (2,3 %). В природных углеводородах и продуктах их передела ванадий (а также никель, медь, молибден, золото) Государственным балансом не учтен.

Обширный перечень природных руд ванадия и производственных отходов, содержащих ванадий, разработанные и осуществляемые в промышленных масштабах технологии получения ликвидных товарных продуктов свидетельствуют о возможности полного удовлетворения в них всех отраслей России.

Ниобий. Государственным балансом запасов Российской Федерации учтено 32 месторождения, в рудах которых ниобий является основным или попутным компонентом [12].

В настоящее время разрабатывается одно месторождение руд комплексного состава — Ловозерское в Мурманской области. Основным ми-

нералом руд является лопарит, содержащий ниобий, тантал, редкоземельные металлы (РЗМ) и титан. Получаемый бедный лопаритовый концентрат (8 % Nb_2O_5) перерабатывается на Соликамском магниевом заводе в Пермской области, продукты переработки экспортируются.

До недавнего времени (2004 г.) добывались пироклоровые руды на Татарском месторождении в Красноярском крае (среднее содержание в руде Nb_2O_5 — 0,69 %); плановое производство Nb_2O_5 из концентратов — 420 т/год. Технологические трудности и высокая себестоимость концентрата привели к закрытию предприятия.

В Иркутской области сформирован крупный рудный район с группой промышленных месторождений. Здесь разведаны Белозиминское и Большетагнинское, Зашихинское (его руды являются самыми богатыми по содержанию тантала) месторождения, предварительно изучено Среднезиминское месторождение. Рядом с Белозиминским выявлено месторождение магнетитовых руд с ресурсами 320 млн т, легированных ниобием (0,145 % Nb_2O_5) и танталом (0,0082 % Ta_2O_5).

Согласно протоколам ГКЗ СССР и ГКЗ “Роснедра”, запасы ниобия Белозиминского и Большетагнинского месторождений обеспечат потребности предприятий России на длительный срок и дальнюю перспективу. Руды обоих месторождений могут отрабатываться единым ГОКом ввиду их близкого расположения.

Зиминский рудный район характеризуется благоприятными географо-экономическими условиями. Близко расположенные заводы в г. Усолье-Сибирское и г. Ангарск планировали переработку редкометалльных концентратов.

На севере Читинской области разведано Катугинское месторождение комплексных редкометалльных руд (Zr, TR, Nb, Ta).

В последние годы возобновилось геологическое изучение двух месторождений редкометалльных руд — Чуктуконского и Томторского. Руды Чуктуконского месторождения (Красноярский край) богаты ниобием и РЗМ и содержат железо и марганец.

Томторское месторождение расположено на севере Красноярского края в 250 км от побережья Северного Ледовитого океана, в зоне вечной мерзлоты. Руды содержат Nb, РЗМ, Sc, Fe, Ti, V, P_2O_5 . Детально разведывается участок Буранный с богатыми рудами, геологоразведочные работы оценочной стадии ведутся на участках Южный и Северный с рядовыми рудами.

Россия импортирует продукты ниобия — пентаоксид, феррониобий, а также трубы большого диаметра, сталь которых легирована ниобием. Прогноз потребления ниобия в России — 2,5–5 тыс. т/год, что не представляет затруднений в

случае освоения месторождений Зиминского рудного района.

Молибден. Государственным балансом запасов Российской Федерации учтены 34 месторождения, из них 30 с балансовыми запасами металла. В распределенном фонде 23 месторождения, включая 10 урановых с попутным молибденом [1].

По разведанным запасам Россия занимает пятое место в мире после Китая, Чили, США и Перу, добыча руд в которых составляет 88 % от мировой. Китай занимает первое место в мире не только по запасам, но и по производству молибдена (в 35 раз больше России, которая по производству в 20 раз уступает Чили и США). При этом экспортируются отечественный молибденовый концентрат (в Нидерланды) и ферромолибден (в Нидерланды и Канаду — в сумме 95 % от произведенного в стране).

В 2013 г. была остановлена добыча руды на Жирекенском месторождении (Читинская обл.) и завод по производству ферромолибдена был закрыт. Остался основной продуцент — Сорский ГОК, на базе руд одноименного месторождения работает ферросплавный завод [6].

Прекращена подготовка к эксплуатации Бугдаинского (Читинская обл.), Орекитканского, Мало-Ойногорского и Жарчихинского месторождений (Республика Бурятия), а также Агаскырского (Республика Хакасия). Не осваивается месторождение Лобаш (Республика Карелия).

В результате экономической переоценки Тырныаузского месторождения (Республика Кабардино-Балкария) балансовые запасы молибден-вольфрамовых руд всех категорий уменьшились, добыча не восстановлена.

Добыча попутного молибдена играет важную роль в отрасли, в том числе из руд медно-порфирирового типа (Михеевское в Челябинской обл.), крупными запасами молибдена характеризуются урановые руды (Стрельцовское, Мало-Тулукуевское и др. в Забайкальском крае). На Казском железорудном месторождении подземными горными выработками вскрыты молибденовые руды с содержанием металла 0,06 %, в том же районе выявлена Викторьевская зона с жильными рудами кварц-молибденитового типа с содержанием молибдена от 0,18 до 2 % (бороздовое опробование канав и траншей).

Крупным продуцентом ферромолибдена мог бы служить Камышинский завод в Волгоградской области, но он не имеет собственной минерально-сырьевой базы. Выход нашли в импорте молибденовых концентратов (вместо освоения отечественных месторождений). В 2015 г. импорт концентратов составил 4538 т (из Чили, США и Нидерландов).

Мировой рынок молибдена находится в упадке и с 2009 г. не восстановился. Российский

рынок невелик (осуществляется экспорт руды и ферромолибдена при наличии импорта), минерально-сырьевая база молибдена в стране может удовлетворить любой всплеск спроса на этот легирующий металл.

Вольфрам. Государственным балансом запасов учтены 92 месторождения вольфрама: 52 коренных и 40 россыпных. Месторождений с балансовыми запасами WO_3 — 76 (41 коренных руд, 35 россыпных). Учтено и одно техногенное — Барун-Нарынское в Республике Бурятия [1].

Более 35 % запасов России относятся к вольфрамитовому типу руд, 64 % — шеелитовые. Руды комплексного состава содержат вольфрам в качестве попутного компонента — молибденовые, медные, оловянные и др. В Республике Бурятия разведано Мало-Ойногорское месторождение молибдена с крупными запасами шеелита (содержание извлекаемого вольфрама — 0,04 % WO_3).

На Кавказе руды месторождения Тырныауз содержат 0,436 % WO_3 , руды шеелитовые, их запасы составляют более 16 % запасов WO_3 страны (с попутным молибденом), а также там находится Кти-Тебердинское месторождение шеелитовых руд (8 % запасов России).

В Республике Саха (Якутия) разведано Агылкинское месторождение шеелита, руды богатые — содержат 1,27 % WO_3 . В Амурской области выявлен ряд проявлений с крупными ресурсами (P_1) вольфрама.

Среди мировых продуцентов Россия занимает третье место (после Китая и Вьетнама). По содержанию WO_3 руды отечественных месторождений часто не уступают зарубежным: в вольфрамитовых — 0,19 %, в шеелитовых — 0,34 % (максимальное содержание WO_3 в первых — 2 %, во вторых — 4,4 %).

В 2015 г. добыча вольфрамовых руд велась на пяти коренных и одном россыпном месторождении (на 13,6 % меньше, чем в 2014 г.). В Приморском крае отрабатываются два месторождения (Восток-2 и Лермонтовское) с богатыми рудами (в среднем более 1 %). Попутно вольфрамовые руды добывались на Правоурмийском месторождении олова в Хабаровском крае.

Крупным источником вольфрама являются производственные отходы: в 2015 г. переработка их увеличилась на 12 % (к 2014 г.): из Бурун-Нарынского техногенного месторождения и из отвалов Спокойненского ГОКа (ЗАО «Новоорловский ГОК» — более 27 % отечественного производства вольфрама). Отметим высокое содержание WO_3 в углях Эльгинского месторождения (более 0,1 % WO_3), которые экспортируются в страны Азиатско-Тихоокеанского региона без извлечения вольфрама. В шлаках Косогорского металлургического завода (Тульская обл.) содержание WO_3 составляет 0,074 % (запасы

шламов превысили 1,5 млн т). В отходах дробильно-обогащительной фабрики Михайловского ГОКа (Курская обл., КМА) содержание WO_3 составляет 0,05 %.

Россия экспортирует вольфрамовые концентраты в Южную Корею (63 % продукта), Вьетнам, Гонконг, Сингапур, Нидерланды.

Потребление вольфрамовых концентратов в России увеличилось с 2013 г. к 2016 г. почти в 4 раза. На внутреннем рынке ощущается устойчивый дефицит вольфрамовых продуктов: импорт в 2015 г. увеличился на 25 % (против 2014 г.). Основными поставщиками являются фирмы Канады (~51 %) и Вьетнама (~30 %).

Покрытие дефицита в России ряда полезных ископаемых за счет импорта товарных продуктов невозможно объяснить процессами глобализации при их экспорте и крупной отечественной минерально-сырьевой базе.

Стронций. Запасы стронция учтены Государственным балансом Российской Федерации в 10 месторождениях. Из них только два являются собственно стронциевыми — целестиновое Мазуевское в Пермской области (9,4 % SrO) и стронционитовое Халютинское в Республике Бурятия [13].

Хибинские месторождения апатита заключают около 99,6 % запасов стронция России и содержат до 1,2 % SrO в апатит-нефелиновых рудах и 3–4 % SrO в апатитовых концентратах. Прямое извлечение из них стронция в СССР являлось убыточным. В настоящее время ведутся работы с отходами передела апатитовых концентратов (содержащих РЗМ и стронций).

Заключение

Таким образом, все рассмотренные легирующие металлы формально имеют достаточную для удовлетворения внутренних потребностей минерально-сырьевую базу. При этом по ряду причин, связанных как с невысоким качеством руд и их неблагоприятными технологическими свойствами, так и с расположением месторождений в неосвоенных районах с плохо развитой инфраструктурой, некоторые из них практически не осваиваются (Mn, Sr) либо добыча руд производится в ограниченных количествах (Cr, Nb, Mo). Дефицит сырья покрывается за счет импорта (Mn — на 90–100 %, Nb — на 70–75 %, Cr — на 60–65 %). Ключевым моментом в решении проблем использования отечественной мине-

В рудах эксплуатируемого Ловозерского месторождения содержится 0,08 % SrO, в лопаритовом концентрате — 3 % SrO (не извлекается) [14].

В железных рудах Ангарской провинции (Иркутская обл.) выявлены крупные ресурсы меди и целестина. Октябрьское месторождение с балансовыми запасами железных руд, так же как Нерюндинское и Капаевское месторождения, не осваивается, несмотря на дефицит железорудного сырья на действующем Коршуновском ГОКе.

На Иркутском заводе тяжелого машиностроения и ММК, в ОАО «Тулачермет-Ванадий» выполнены работы по прямому легированию стали стронцийсодержащими рудами. Трехлетние испытания в условиях севера Иркутской области показали высокие эксплуатационные результаты драг (на россыпных месторождениях золота) и навесного оборудования бульдозеров по сравнению со сталями, легированными ванадием и другими металлами.

В Тульской области выявлены известняки, содержащие стронций. По опыту использования марганецсодержащих руд Улу-Тулякского месторождения целесообразно применять их на металлургических заводах России.

На Соликамском магниевом заводе были переработаны крупные партии целестиновых руд (без обогащения) Мазульского месторождения, из которых получены ликвидные продукты высокого качества.

рально-сырьевой базы легирующих металлов в целях обеспечения металлургических производств является разработка высокоэффективных технологий добычи и переработки бедных и комплексных руд, обеспечивающих рентабельное освоение месторождений.

В заключении отметим, что в статье рассмотрено состояние минерально-сырьевой базы основных легирующих металлов. В качестве легирующих добавок также используются (сегодня в меньших объемах) РЗМ, цирконий, бериллий, титан, бор, скандий. В следующей статье авторы намерены продолжить публикацию материалов по другим легирующим металлам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 г. [Текст]. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2016. — 341 с.
2. Салли, А. Н. Марганец [Текст] / А. Н. Салли; пер. с англ. Ю. А. Башнина. — М., 1959. — 296 с.
3. Тигунов, Л. П. Марганец: геология, производство, использование [Текст] / Л. П. Тигунов, Л. А. Смирнов, Р. А. Менаджиева. — Екатеринбург: изд-во АМБ, 2006. — 184 с.

4. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из [Текст] / Под ред. д-ра геол.-мин. наук В. Н. Пучкова. — Свердловск: УрО РАН, 1990. — 228 с.
5. Салли, А. Н. Хром [Текст] / А. Н. Салли; пер. с англ. В. А. Алексеева. — М., 1958. — 291 с.
6. Быховский, Л. З. Стратегическое минеральное сырье: пути решения проблемы дефицита [Текст] / Л. З. Быховский, Л. П. Тигунов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 5. — С. 43–49.
7. Смирнов, А. А. Ванадийсодержащие стали и сплавы [Текст] / А. А. Смирнов, В. И. Сырейщиков, Б. З. Беленький [и др.]. — Екатеринбург: Средне-Уральское книжное изд-во, 2003. — 307 с.
8. Пахомов, Ф. П. Титаномагнетитовые месторождения России: минерально-сырьевая база, перспективы освоения и комплексного использования [Текст] / Ф. П. Пахомов, Л. П. Тигунов, Л. З. Быховский. — М.: РИС, ВИМС, 2010. — 137 с.
9. Смирнов, А. А. Конвертерный передел ванадиевого чугуна [Текст] / А. А. Смирнов, Ю. А. Дерябин, С. К. Носов. — Екатеринбург: Средне-Уральское книжное изд-во, 2000. — 527 с.
10. Дерябин, Ю. А. Перспективы переработки чинейских титаномагнетитов [Текст] / Ю. А. Дерябин, Л. А. Смирнов, А. А. Дерябин. — Екатеринбург: Средне-Уральское книжное изд-во, 1999. — 367 с.
11. Тигунов, Л. П. Ванадий: состояние и использование минерально-сырьевой базы [Текст] / Л. П. Тигунов, Л. А. Смирнов, Л. З. Быховский, М. А. Турлова // Труды Междунар. конф. “Минерально-сырьевая база черных, легирующих и цветных металлов России и стран СНГ: проблемы и пути развития”. — 2008. — С. 119–123.
12. Быховский, Л. З. Рудная база стратегических редких металлов России: состояние, перспективы освоения и развития [Текст] / Л. З. Быховский, Н. А. Архипова // Горный журнал. — 2017. — № 7. — С. 4–10.
13. Левченко, Е. Н. Стронций России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы [Текст] / Е. Н. Левченко, Л. П. Тигунов. — М.: РИС, ВИМС, 2008. — 87 с.
14. Бортников, Н. С. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития [Текст] / Н. С. Бортников, А. В. Волков, А. Л. Галямов [и др.] // Геология рудных месторождений. — 2016. — Т. 58. — № 2. — С. 97–119.

УДК 622.7

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОБОГАТИМОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ

В. В. КАРМАЗИН, д-р техн. наук, karmazin@mail.ru

(ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСЦ”)

В процессах проектирования и последующей эксплуатации железорудных горно-обогатительных комбинатов необходимо знать характеристики основных технологических типов доступного минерального сырья. В современных условиях эти исследования связаны с дорогостоящими лабораторными, затем опытно-промышленными и, наконец, с промышленными испытаниями. Объемы лабораторных проб достигают нескольких килограммов, полупромышленных — 100 кг и промышленных — одной или нескольких тонн. При этом стоимость промышленных испытаний по развитой схеме на представительной пробе для получения надежных данных для проектирования фабрик составляет сотни тысяч рублей.

Показатели обогащения делят на три группы:

- потенциальные, получаемые с помощью ЭВМ на основе минералогического анализа, выполненного методами современного инструментального анализа, например, на растровом электронном микроскопе с микрозондом, на установке типа “Эпиквант”, на минералогических микроскопах (оптических или лазерно-оптических) с компьютерной обработкой изображения шлифа или аншлифа и др. Эти показатели можно считать экспериментально-теоретическими, и они указывают на верхний предел технологических возможностей обогащения руды;
- реальные, получаемые практически на идеально настроенном лабораторном обогатительном оборудовании;
- и реализуемые, получаемые по данным потенциальных и реальных показателей в промышленных условиях.

Если разница между реальными и реализуемыми показателями обычно остается на совести инженеров, создающих оборудование, проектантов и технологов обогатительных фабрик и может быть сведена к приемлемому минимуму, то

различия между потенциальными и реальными показателями — это внутренний резерв технологии, который нужно использовать путем ее оптимизации. Принципам такой технологической оптимизации и посвящена настоящая работа.

Появление прецизионной аппаратуры для лабораторных анализов с применением компьютерной обработки их результатов позволило повысить точность оценки ожидаемых показателей обогащения. Конечно, лабораторные исследования не смогут полностью заменить промышленные, но позволят уменьшить объемы промышленных испытаний, что значительно снизит стоимость технологических прогнозов и предпроектной подготовки.

Математическое моделирование процессов является задачей более сложной, так как требует учета многих факторов, которые по результатам экспериментов уже учтены в интегральных технико-экономических показателях, но оно на порядок дешевле экспериментальных исследований и позволяет расширить перечень исследуемых технологических схем. Приходится искать золотую середину, когда результаты получают расчетными методами, уточняя их минимально необходимыми объемами экспериментальных исследований. Ниже рассматриваются особенности и проблемы математического моделирования обогатительных технологий для их оптимизации.

В соответствии с формулой В. И. Кармазина, которую он сам называл основным законом обогащения, качество концентрата при максимальном извлечении полезного металла зависит от коэффициента раскрытия K_p , коэффициента эффективности сепарации K_c и коэффициента измельчения K_n следующим образом:

$$\beta_R = \alpha + K_p K_c K_n (\beta_T - \alpha). \quad (1)$$

Коэффициенты K_p и K_c можно определять по данным минералогического, химического и фракционного анализов:

$$K_p = (\beta_{фа} - \alpha) / (\beta_T - \alpha), \quad K_c = (\beta_T - \alpha) / (\beta_{г.а} - \alpha), \quad (2)$$

где β_k , $\beta_{фа}$ и β_T — содержание полезного металла в концентрате сепаратора, фракционного анализатора и теоретическое содержание металла в полезном минерале соответственно; α — содержание металла в исходной руде.

В случае, когда $K_p = 1$ (только свободные рудные минералы) и $K_c = 1$ (размер зерен после измельчения равен размеру вкраплений), а коэффициент контрастности свойств разделяемых минералов стремится к бесконечности, $K_c = 1$, то $\beta = \beta_T$, а извлечение металла (или минерала) будет равно 100 %. Но даже при идеальной сепарации ($K_c = 1$) качество концентрата β_k определяется уровнем раскрытия и измельчения — K_p и K_c . В случае достижения полного раскрытия и идеальной сепарации 100 %-ные показатели будут достигнуты, если в процессе рудоподготовки руда будет полностью раскрыта без переизмельчения, т. е. $K_c = d_{изм}/d_{вкр} = 1$. В случае переизмельчения — $K_c < 1$, в свою очередь, снижается коэффициент сепарации — $K_c < 1$, т. е. при высоком содержании тонких классов очень трудно поддерживать коэффициент сепарации на уровне единицы.

Степень раскрытия полезного минерала называют отношение количества свободных зерен его в данном продукте к его общему количеству в нем. Достигается раскрытие измельчением материала, хотя степень раскрытия, как правило, ниже степени измельчения (рис. 1). На рис. 1 показана идеализированная схема куска руды, состоящего из двух минералов А и В, распределенных равномерно в соотношении 1:1. Если размер вкраплений минералов D , то для полного раскрытия минералов требуется разрушить кусок руды до размера D , но с учетом возможного сферообразования, переизмельчим руду до размера $d = D/2$, т. е. в 2 раза. В соответствии с рис. 1 в объеме одного зерна D^3 полностью раскроется только часть минерала с объемом d^3 . Степень раскрытия в этом случае $K_p = 1/2^3 = 0,12$, т. е. только 12 % минералов будут представлены мономинеральными зернами, остальные — сросками. С учетом определения легко убедиться, что степень раскрытия при такой вкрапленности по формуле Годэна равна

$$K_p = (i - 1/i)^3, \quad (3)$$

где $i = D/d$ — степень измельчения.

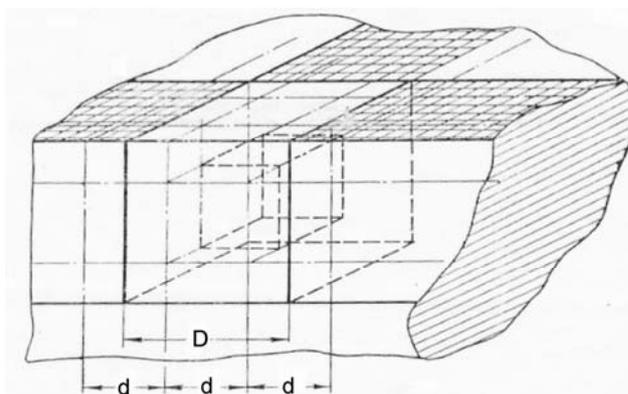


Рис. 1. Модель раскрытия равномерно вкрапленной двухфазной руды

При этом измельчении происходит частичное разрушение межмолекулярных или ионных связей кристаллической решетки, что связано с большими энергозатратами.

Полное разрушение этих связей в металлургических процессах (плавка) с последующим гравитационным разделением металла и шлама требует еще больших энергозатрат (как правило, на порядок), поэтому применимо только к высококачественным концентратам, а не к сырью.

Особую проблему в технологические расчеты вносит сложность гранулометрического состава разделяемых продуктов, особенно если учесть, что каждый класс крупности при разделении ведет себя по-своему. О.Н. Тихонов находит пути решения этой проблемы, рассматривая совокупность разделительных чисел — извлечений по каждому классу крупности с учетом их минерального состава. Н.В. Куделин и Ю.Г. Гершойг [1] разработали оригинальную методику расчета потенциальных показателей обогатимости по данным минералогического анализа проб при различной степени их измельчения.

Все существующие отечественные и зарубежные подходы основаны на методах математической статистики, теории вероятностей, теории информации, физической кинетики и др.

Интеллектуальный труд обычно дешевле, чем промышленное производство, поэтому дешевле сделать расчет и оценить предполагаемые при этом дальнейшие затраты, чем вложить большие средства в промышленные исследования, результат которых к тому же может оказаться и отрицательным.

При сепарации сильномагнитных материалов наиболее контрастно отличаются магнитные свойства рудной смеси и немагнитных минералов пустой породы, поэтому в I стадии выделяют, как правило, только хвосты, несмотря на то, что значительная часть рудного минерала тоже раскрыта. В этих условиях применение высокоселективных процессов, например сухой центробежной сепарации, для выделения части

готового концентрата в I стадии является важным технологическим резервом магнитного обогащения [2–4].

В последние годы в этом направлении сделано очень много, и вывод готовых продуктов по технологической цепочке осуществляется за счет внедрения бесклассификационных схем (магнитная сепарация с выводом промпродукта в замкнутый цикл, на доизмельчение), магнитной дешламации на последних стадиях и т. п. [5].

Таким образом, в процессах обогащения полезных ископаемых главным принципом техники и технологии остается достижение максимальной степени раскрытия при минимальной степени измельчения. Повышение степени раскрытия за счет роста степени измельчения лишено практического смысла. Для этого технологическая схема измельчения должна стать “скелетом” общей технологической схемы, показатели которой по нашим программам могут быть получены для конкретных технологических типов руд (технологическое картирование), что позволит применить принцип распознавания образа для управления процессами обогащения.

В этом случае определение потенциальной обогатимости сырья имеет очень важное значение. Современные методы микроскопического и микронзондового анализа в сочетании с компьютерной обработкой позволяют быстро и эффективно исследовать различные фракции крупности продуктов обогащения полезных ископаемых и легко различают чистые рудные зерна, чистые нерудные зерна и сростки.

Обозначим количество рудных зерен через p , нерудных зерен — n , а количество сростков — c . Рудные зерна p имеют содержание минерала, равное единице, в нерудных (n) оно равно нулю. Содержание минерала в сростках находится в пределах от 0 до 1: $0 < c < 1$.

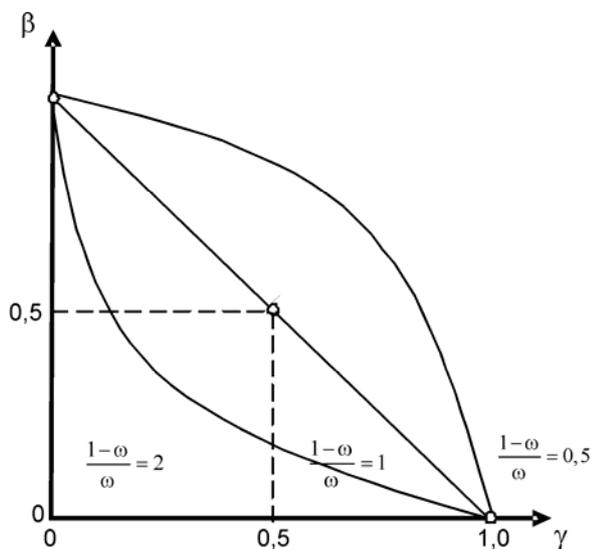


Рис. 2. Зависимость $\beta = f(\gamma)$

Разделение смеси зерен при обогащении на два продукта происходит по границе разделения λ_0 . Часть сростков (рис. 2) пойдет в концентрат, а часть — в хвосты. Разделение может происходить визуально — ручная рудоразборка или в различных сепараторах (по граничной плотности разделения, граничной магнитной восприимчивости, флотирuemости и т. д.).

Обозначим выход (количество) полученной рудной фазы A , тогда $A = p + \omega c$, где ω — содержание рудной фазы в сростках, доли ед.

$\omega = (A - p)/c$, а степень оруденения сростков $Op = \omega/(1 - \omega)$, чем больше Op , тем больше потери полезного минерала и хуже результаты обогащения.

Обозначим количество нерудной фазы B , тогда $B = 1 - A$.

Степень раскрытия рудной и нерудной фаз в этом случае по определению равна:

$$K_{pA} = p/A = (A - \omega c)/A \text{ и } K_{pB} = n/B = n/(1 - A).$$

Сростки условно можно разделить на две группы, находящиеся по разные стороны от границы разделения: сростки с преобладанием рудных минералов, или богатые сростки, и сростки с преобладанием нерудных минералов, или бедные сростки:

$$\Omega = \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2. \quad (4)$$

Идеальные показатели сепарации легко найти из следующих выражений:

выход концентрата: $\gamma = p + \omega_1 c_1$;

качество концентрата: $\beta = (p + \omega_1 c_1)/(p + c_2)$;

извлечение минерала в концентрат: $\varepsilon = (p + \omega_1 c_1)/A$, где $p + \omega_1 c_1$ — количество рудного минерала в концентрате; A — количество рудного минерала в исходном.

В процессах обогащения значительно легче отделить нерудную фазу от рудной, чем разделить рудную фазу и сростки, поскольку в первом случае значительно выше относительная разность (контрастность) свойств, по которым происходит разделение.

Обычно в первом приеме обогащения выделяют нерудные зерна, а рудную смесь $P = (p + c_1 + c_2)$ выделяют в отдельный промежуточный продукт (черновой концентрат).

Содержание полезного минерала в этом продукте составляет:

$$\beta = (p + \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2)/(p + c_1 + c_2). \quad (5)$$

Характеризовать соотношение выхода сростков и содержания рудного минерала в них можно по формуле профессора Куделина, установленной им на основе многочисленных экспериментов [1]:

$$\beta = (1 - \gamma)^{(1-\omega)/\omega} = (1 - \gamma)^{1/Op}. \quad (6)$$

При увеличении содержания минерала прямо пропорционально выходу этого продукта характеристика будет прямой линией. В других случаях это будет выпуклая или вогнутая линия. Если ω — доля рудных сростков: $\omega = (A - p)/c = 0,5$, то степень оруденения $Op = \omega/(1 - \omega) = 1$ и функция выход–качество характеризуется прямой.

При $\omega > 0,5$ и $Op > 1$ — зависимость выход–качество будет характеризоваться выпуклыми линиями, а при $\omega < 0,5$ и $Op < 1$ эта же зависимость будет представлена вогнутой линией.

Подставляя значение Op в формулу (6), получим:

$$\beta = \frac{1}{\gamma} \left[A - \frac{\omega(P - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{c^{\frac{1-\omega}{\omega}}} \right], \quad (7)$$

где β — изменение рудного минерала в сростках по мере увеличения выхода сростков; $P = (p + c_1 + c_2)$ — рудная смесь.

Аналогично определяется извлечение металла в концентрат ε и потери его в хвостах ν :

$$\varepsilon = 1 - \frac{\omega(P - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{A^{\frac{1-\omega}{\omega}}};$$

$$\nu = \frac{\omega(P - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{c^{\frac{1-\omega}{\omega}} (1 - \gamma)}. \quad (8)$$

Кривые обогатимости (рис. 3) строятся следующим образом. Первый участок кривой β (содержание металла в концентрате) — p представляет собой горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс при $\beta = \beta_{\text{теор}}$, т. е. теоретическому содержанию металла в чистом минерале. По горизонтали этот участок ограничен точкой с абсциссой p — содержание чистых рудных зерен в пробе. На втором участке кривой — с координаты точек β определяются по формуле (7) при заданных величинах. На третьем участке кривой — n содержание в хвостах ν близко к нулю [формула (8)].

Потенциальная обогатимость руды, таким образом, определяется по следующим параметрам минералогического исследования:

- A — содержание рудной фазы;
- P — выход рудной фазы;
- Op — степень оруденения сростков;
- c — выход сростков.

Применение специальных компьютерных программ позволяет в лабораторных условиях с помощью стадийного измельчения и минералогического анализа продуктов прогнозировать результаты обогащения и синтезировать оптимальные технологические схемы для каждого типа руды.

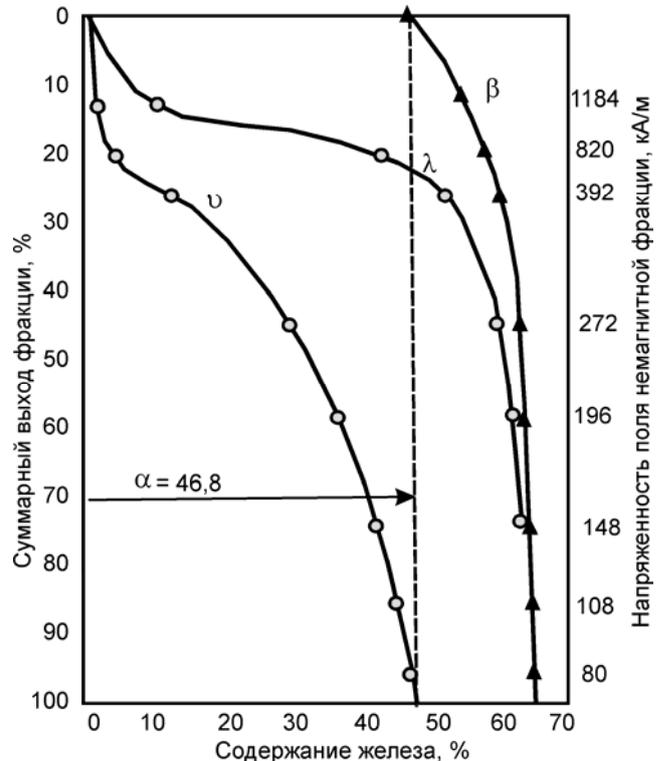


Рис. 3. Кривые обогатимости железной руды по магнитным свойствам

Определение реально достижимых показателей магнитного обогащения производится путем исследования представительной пробы руды на универсальном магнитном анализаторе (трубка Дэвиса).

Для этой цели пробу руды заданной крупности разделяют на магнитные и немагнитные фракции при наклонном положении трубки. Силу тока и связанную с ней напряженность поля постепенно увеличивают так, чтобы минералы с заданной восприимчивостью полностью извлекались, но не захватывали немагнитные минералы. Магнитную и немагнитную фракции подвергают сокращению, рассеву, взвешиванию, химическому и микроскопическому (на бинокулярных микроскопах МБС-1) анализу.

На рис. 3 приведены кривые реальной обогатимости магнитным способом тонкослоистых магнетитовых кварцитов крупностью 0,6–0 мм Лебединского месторождения, построенные по данным магнитного и микроскопического анализов, приведенным в таблице.

**ПРИМЕРНЫЕ ДАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАТИМОСТИ
МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ МАГНИТНЫМ СПОСОБОМ В СЛАБОМ ПОЛЕ**

Продукт	Содержание рудной фазы в сростках, %	Выход, %	Содержание Fe _{общ} , %	
			в элементарных фракциях	суммарное
Исходная проба	100	100	37,9	37,6
Немагнитная фракция	0	32	1,0	1,0
Магнитная фракция	100	33,3	71,8	71,8
	90	12,7	65,2	69,87
	75	4,0	54,3	68,89
	50	3,8	36,2	66,6
	25	5,4	18,1	62,24
Исходная магнитная фракция	68	68	55,4	—

При измельчении руд Лебединского ГОКа до крупности 0,6–0 мм можно выделить 47 % концентрата, содержащего около 70 % железа. Реализуемые на комбинате показатели магнитного обогащения значительно хуже. При такой круп-

ности концентрат выделить не удастся, а при более тонком измельчении (до –0,07 мм) вырабатывают в соответствии с планом концентрат, содержащий 68 % железа при извлечении металла около 75 %.

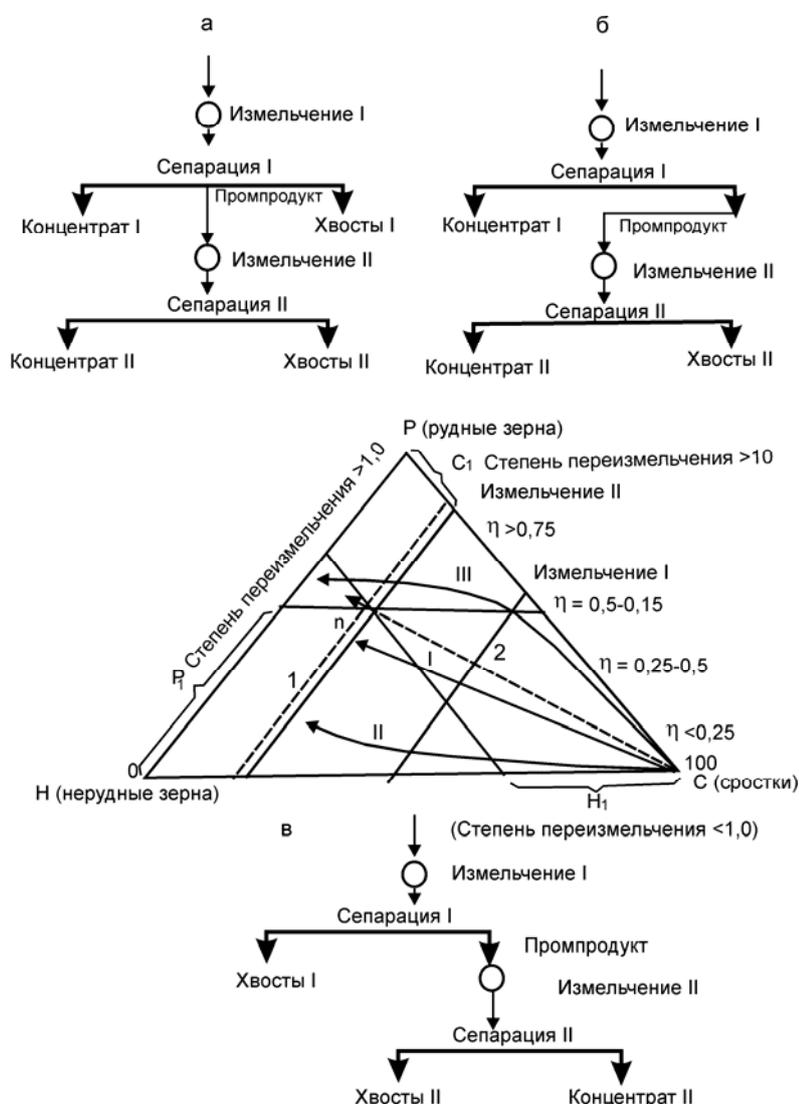


Рис. 4. Принципиальные схемы раскрытия руд различных типов:
а — раскрываются рудные и нерудные; *б* — первыми раскрываются рудные;
в — первыми раскрываются нерудные минералы

Схема раскрытия минералов, как уже отмечалось, является структурной основой общей технологической схемы обогащения руды (рис. 4), т. е. характер вкрапленности руды и ее структура могут определять раскрываемость ее отдельных компонентов, а значит и технологическую схему измельчения. Последняя является “каркасом”, на котором формируется вся технологическая схема обогащения. Здесь она показана на трехосной диаграмме “рудные зерна — Р, сростки — С, нерудные зерна — Н”. Читается она по часовой стрелке и каждой точке соответствуют три координаты состояния измельченного продукта — Р, С и Н. Полное раскрытие (идеальный случай) наступает на линии Р – Н, при С = 0. Координаты состояния после любой стадии измельчения находятся на уровнях параллельных линии Р – Н и приближающихся к последней с увеличением степени измельчения за счет повышения раскрытия.

В соответствии с правилом Чечотта и в зависимости от особенностей раскрытия конкретного типа руды после I стадии измельчения выделяют либо часть концентрата (см. рис. 4, б), либо хвосты (см. рис. 4, в), либо и то, и другое, а сростки направляют на дальнейшее раскрытие (см. рис. 4, а) в соответствии с кривыми III, II, I на треугольнике. Очень важно после каждой стадии измельчения выводить из процесса обогащения не менее 15–20 % готовых продуктов (по выходу от исходного материала). Линии равного измельчения по стадиям параллельны оси Н – Р.

Для руды типа а уже после первой стадии измельчения, если это позволяет эффективность применяемых методов сепарации, можно вывести из процесса часть готовых продуктов, сужая дальнейший фронт измельчения. Для руд типа б и в после первой стадии измельчения можно получить в готовом виде только часть концентрата или хвостов, а остальное требует дальнейшего измельчения для полного раскрытия [3].

Граничная интерпретация вышеизложенного иллюстрируется рис. 5. На кривых обогатимости после 1, 2 и 3-й стадий измельчения содержание магнитного минерала в сростках почти прямо пропорционально отражает изменение их магнитных свойств, таким образом, K_m зависит от раскрытия зерен магнитных и немагнитных минералов. Это можно достаточно убедительно видеть на рис. 5, представляющем идеализированный случай [4].

В реальном случае чувствительность сепаратора определяется среднеквадратичным отклонением содержаний извлекаемого минерала от граничного; иными словами — чем острее пик кривой распределения содержаний на границе разделения, тем выше чувствительность сепара-

тора и выше коэффициент избирательности разделения (рис. 6).

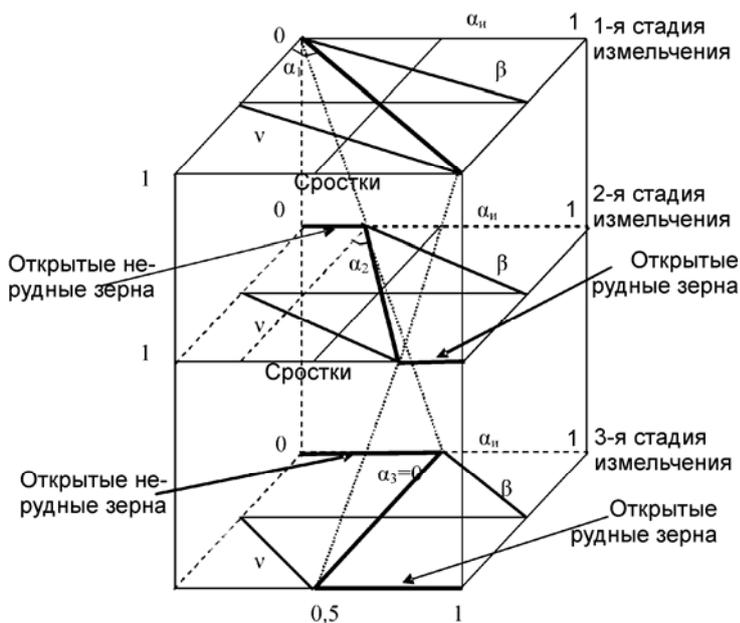


Рис. 5. Взаимосвязь степени раскрытия и потенциальных параметров обогащения в идеализированных вариантах: 1 — нераскрытый материал (сростки); 2 — полураскрытый материал; 3 — полностью раскрытый материал (свободные зерна разделяемых материалов). Коэффициент раскрытия $K_p = 1 - \operatorname{tg} \alpha$, причем α изменяется от 45 до 0 град., а $K_{\text{пот}}$ — от 0 до 1

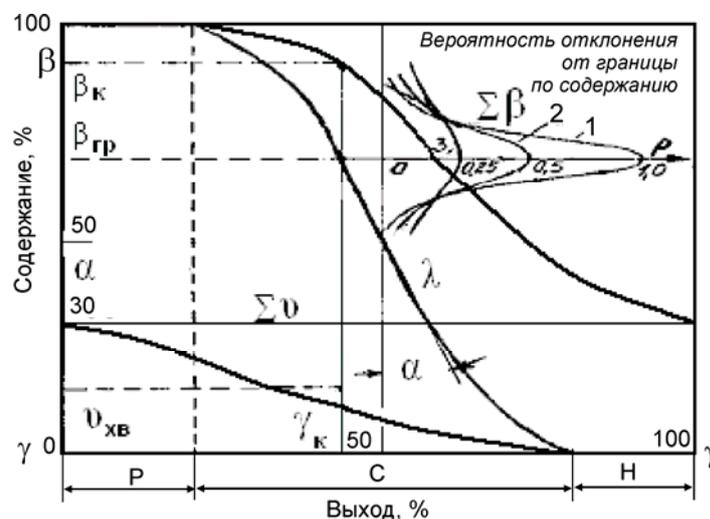


Рис. 6. Взаимосвязь степени раскрытия и потенциальных параметров обогащения на кривых обогатимости: β_p — граничное содержание сростков; β_k , ν — содержание металла в концентрате и в хвостах при идеальной вероятности разделения на границе (руда) — $P = 1$; при распределении содержание на границе 1 — эффективная сепарация, 2 — удовлетворительная и 3 — плохая (большое засорение концентрата бедными сростками, а хвостов — богатыми)

По мере приближения к границе разделения на кривой I (кривая элементарных фракций) коэффициент контрастности свойств K_m стремится к нулю, а эффективность процесса достигает максимума ($d\beta/d\gamma = 0$) и с ростом выхода γ в дальнейшем снижается.

Повышение степени раскрытия минералов по мере измельчения, с одной стороны, связано с увеличением контрастности свойств разделяемых зерен, а с другой стороны, эта же эффективность начинает снижаться за счет ухудшения условий сепарации при переизмельчении мате-

риала. В этом случае необходимо добиваться высокой селективности раскрытия, т. е. максимальной степени раскрытия минералов при минимальной степени измельчения руды.

На основе анализа результатов раскрытия минералов пробы мы априори узнаем не только, каких технологических результатов может достигнуть промышленность на данном месторождении, но и пути их достижения в действующих технологических схемах обогащения [7] и при проектировании новых обогатительных фабрик [8].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Гершойг, Ю. Г. Оценка обогатимости железных руд [Текст] / Ю. Г. Гершойг, Н. В. Куделин // Обогащение руд. — 1961. — № 1. — С. 16–21.
2. Кармазин, В. В. Магнитные и электрические методы обогащения [Текст]: учебник / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. — М.: Недра, 1989.
3. Остапенко, П. Е. Обогащение железных руд [Текст] / П. Е. Остапенко. — М.: Недра, 1985.
4. Верховский, И. М. Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых [Текст] / И. М. Верховский. — М.–Л.: Углетехиздат, 1949.
5. Кармазин, В. И. Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов [Текст] / В. И. Кармазин. — М.: Госгортехиздат, 1962.
6. Кармазин, В. И. Магнитные методы обогащения [Текст] / В. И. Кармазин, В. В. Кармазин. — М.: Недра, 1984.
7. Кармазин, В. И. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых [Текст] / В. И. Кармазин, Е. Е. Серго, А. П. Жендринский [и др.]. — М.: Недра, 1974.
8. Ревнивцев, В. И. Рациональная технология обогащения кислых кварцитов [Текст] / В. И. Ревнивцев, А. М. Комлев, А. И. Урванцев // Обогащение руд. — 1984. — № 6. — С. 13–15.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе

Ю. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, uaf.39@mail.ru; Л. И. КАПЛУН, д-р техн. наук, проф.
(ООО «НПП «Уралэлектра»)

В продолжение серии статей, посвященных технологии агломерационного процесса [1–8], выполнен развернутый анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе с использованием трехмерной (динамической) математической модели. Рассмотрено влияние на

процесс охлаждения агломерата условий формирования слоя по фракционному составу, высоты и начальной температуры слоя, характеристик дутьевых вентиляторов, температуры окружающей среды.

Предшествующие исследования

Теплообмен в насыпном слое агломерационного спека^{*1} на линейном (как и на кольцевом^{*2}) охладителе имеет ряд особенностей, связанных с полидисперсностью и газопроницаемостью кусков агломерата. Гранулометрический состав аглоспека отличается большой неравномерностью: до 40 % фракции 0–10 мм и до 12 % кусков максимальной крупности, неправильной формы, чаще всего в виде пластин длиной до 300 мм и толщиной около 200 мм. Мелкие фракции аглоспека (0–10 мм) представляют собой термически тонкие тела с развитой поверхностью теплообмена, поэтому объемный коэффициент теплоотдачи в засыпке только мелкой фракции очень велик. Теплообмен в засыпке крупных кусков с высокой термической массивностью лимитируется их теплопроводностью. Вместе с тем крупные куски имеют большое количество сквозных пор и каналов, через которые при определенных условиях может хорошо фильтроваться воздух, ускоряя их охлаждение.

Процесс охлаждения агломерата детально изучался 60–80-е годы прошлого столетия во Всесоюзном научно-исследовательском институте металлургической теплотехники (ВНИИМТ) [9–11]. Комплекс экспериментальных исследований и расчетных методов работы [9], наиболее

совершенных для своего времени, позволил авторам выполнить анализ закономерностей теплообмена и влияния технологических факторов на эффективность охлаждения агломерата в насыпном слое на линейных охладителях. Вместе с тем, как отмечено в работе [12], существенные отличия в гранулометрическом составе агломерата, его распределении по высоте и ширине слоя на охладителе, начальной температуре и пористости крупных кусков практически сводят в конечном итоге сложные для применения на практике методы расчета охлаждения агломерата в автономных охладителях к эмпирическим зависимостям. Эти расчетные методы также имели ограничения, связанные с уровнем развития вычислительной техники того времени.

Современная математическая модель для расчета процесса охлаждения аглоспека на линейном (кольцевом) охладителе и исследования на ней процесса его охлаждения представлены в работе [12]. Однако эти исследования относятся к относительно мелкому аглоспеку, который может формироваться только при дроблении новой одновалковой дробилкой или дробилкой с увеличенным числом зубьев. Ниже рассмотрен процесс охлаждения аглоспека типичной крупности.

В модельных и лабораторных исследованиях, выполненных во ВНИИМТ, рассмотрены следующие способы повышения эффективности охлаждения агломерата:

– увеличение высоты насыпного слоя агломерата до оптимальных 1,5 м, сопровождаемое

^{*1} При наличии в схеме цепи аппаратов горячего грохота на автономном охладителе преимущественно охлаждается агломерат, в его отсутствии — агломерационный спек.

^{*2} В статье не ставится задача сравнения линейных и кольцевых охладителей.

ростом температуры воздуха на выходе из слоя, позволяет снизить удельный расход воздуха и электроэнергии на охлаждение агломерата;

- снижение верхнего предела крупности агломерата;
- увеличение скорости фильтрации воздуха для интенсификации теплообмена в слое;
- укладка агломерата с рациональным распределением фракций по высоте слоя и одинаковым — по ширине охладителя.

При проведении лабораторных опытов, выполненных во ВНИИМТ Б.С. Расиным, установлено:

- скорость фильтрации воздуха через расположенный на поверхности слоя крупный кусок агломерата составляет 15–25 % от скорости фильтрации воздуха через слой агломерата;
- время охлаждения отдельно лежащего крупного куска или группы таких кусков (в опытах — от среднemasсовой температуры 800 до 100 °С) в 6 раз больше, чем в окружении фракции 0–15 мм, и в 1,3 раза больше, чем в окружении даже относительно крупной фракции 60–100 мм;

– чем ближе кусок к месту подачи в слой холодного воздуха, тем с большей скоростью он охлаждается;

– чем мельче материал, окружающий крупный кусок, тем больше перепад давлений воздуха на границах куска и скорость фильтрации воздуха через кусок, и тем меньше продолжительность его охлаждения;

– газопроницаемость куска агломерата не зависит от того, каким образом он ориентирован в слое по отношению к потоку воздуха.

Использованная ниже для расчетного анализа трехмерная (динамическая) математическая модель процесса охлаждения насыпного слоя агломерата, рассмотренная в работе [12], является программой, позволяющей расчетным путем получать динамическое распределение в объеме слоя температур агломерата и охлаждающего воздуха и газодинамических характеристик газового потока.

Адаптация математической модели

Для проведения исследований на модели приняты экспериментальные данные охлаждения агломерата на линейных охладителях ОП-315 Карагандинского металлургического комбината [КарМК, ныне “АрселорМиттал Темиртау” (АМТ)] [11]. Распределение фракций агломерата по высоте слоя при его прямой и обратной системах загрузки показано на рис. 1 и 2, а вид на слой на охладителях при первом (“Северсталь”) и втором (АМТ) способах его формирования — на рис. 3 и 4.

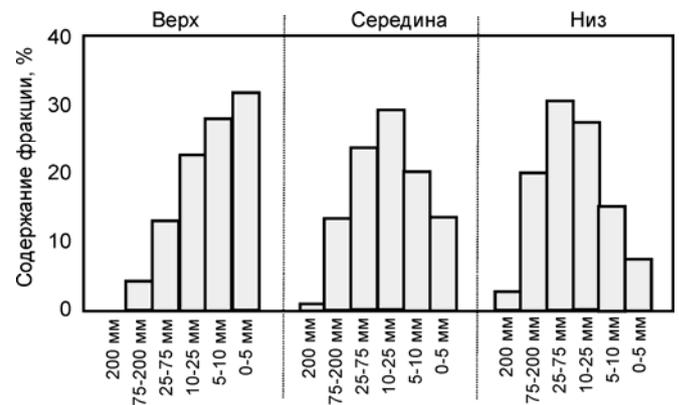


Рис. 2. Распределение фракций агломерационного спека по высоте слоя при обратной системе загрузки

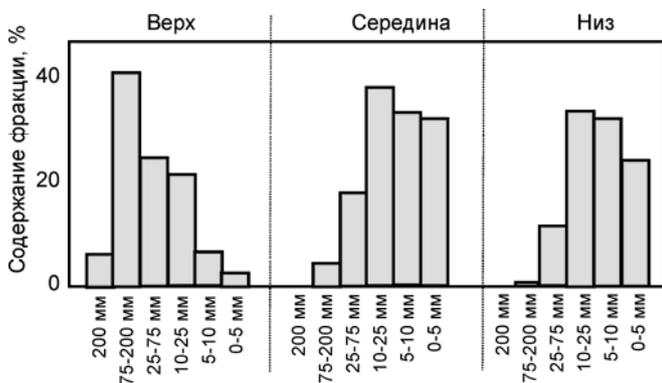


Рис. 1. Распределение фракций агломерационного спека по высоте слоя при прямой системе загрузки



Рис. 3. Слой агломерата на линейном охладителе “Северстали”, прямая система загрузки, 2016 г.



Рис. 4. Слой агломерационного спека на линейном охладителе АМТ, обратная система загрузки, 2016 г.

Аэродинамические характеристики дутьевых вентиляторов ВДН-24 и ВДН-26 охладителей ОП-315 описаны в модели полиномиальным квадратичным уравнением.

Исходные данные по распределению фракций агломерационного спека по высоте слоя, принятые для базового расчетного варианта, приведены в табл. 1. Температура крупной фракции принята равной 900 °С, мелкой — 375 °С, средняя температура спека — 600 °С.

ТАБЛИЦА 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Высота участка слоя сверху вниз, мм	Содержание мелкой фракции, %	Содержание крупной и средней фракций, %	Порозность на участке слоя, %	Среднемассовый диаметр крупной фракции на участке слоя, мм	Среднемассовый диаметр мелкой фракции и постели на участке слоя, мм	Начальная температура на участке слоя, °С
46,7	11,55	88,45	0,610	250	5,86	900
46,7	21,00	79,00	0,605	200	5,66	810
46,7	30,45	69,55	0,600	150	5,47	725
46,7	39,00	61,00	0,595	100	5,27	640
46,7	49,35	50,65	0,590	75	5,08	550
46,7	58,80	41,20	0,585	50	4,88	510
140	75,22	24,78	0,580	40	4,51	465
140	83,76	16,24	0,5751	30	4,11	420
140	89,82	10,18	0,571	20	3,74	375
Σ 700 мм						

Скорость полотна линейного охладителя составляет 1,753 м/мин, производительность — 449 т/ч. Давление в камерах дутьевых вентиляторов в базовом варианте принято по данным промышленных измерений. Для его получения в модели по известным газодинамической характеристике дутьевых вентиляторов и коэффициенту сопротивления щелей уплотнений подобрали высоту последних. В результате расход продуваемого через уплотнения воздуха рассчитывается в разных вариантах расчетов автоматически.

Исследования и практика работы охладителей на КарМК при обратной системе загрузки агломерата показали, что в результате достигается средняя температура слоя 35 °С и более глубокое охлаждение по сравнению с прямой загрузкой отдельных крупных кусков (не более 175 °С). Вместе с тем из-за чрезмерно развитой

сегрегации агломерата по крупности (высокой концентрации мелкой фракции вверху слоя) и больших выбросов пыли в атмосферу и на рабочие площадки аглоцех КарМК был вынужден отказаться от этой системы загрузки.

В 2016 г. при реконструкции аглолинии агломашини № 7 эта проблема была удачно решена путем установки нового узла загрузки на охладитель, обеспечивающего более умеренную сегрегацию аглоспека по крупности по высоте слоя [13]. Вместе с тем на рис. 4 видны результаты дискретной подачи аглоспека на охладитель, и хотя это практически не повлияло на эффективность охлаждения агломерата, для формирования равномерного по высоте слоя рекомендовано установить гладилку.

Результаты расчетов материального и теплового балансов базового варианта приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНСЫ БАЗОВОГО ВАРИАНТА РАСЧЕТА

Статьи баланса	Приход		Расход		
	кг/ч	нм ³ /ч	кг/ч	нм ³ /ч	%
Материальный баланс					
Крупная и средняя фракции	159204,6		159204,6		
Мелкая фракция	293523,5		293523,5		
N ₂ воздуха	1461650	1169320	1461650	1169320	79
O ₂ воздуха	444045,9	310832,1	444045,9	310832,1	21
Итого	2358424		2358424		100,0
Погрешность с накоплением	0,00E+00		0,00E+00		
Статьи баланса	Приход		Расход		
	МДж/ч	%	МДж/ч	%	
Тепловой баланс					
Со спеком	218018,8	84,2	39622,4	15,04	
С воздухом	40903,2	15,1	216974,5	84,6	
Итого	258921,6	100	256592,8	100,0	
Погрешность с накоплением	7,96E-05		2329,1		

Результаты расчетов основных параметров работы охладителя в базовом варианте приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ПАРАМЕТРЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОГО СПЕКА В БАЗОВОМ ВАРИАНТЕ

Граница, м	Давление, кПа	Температура, °С	Расход воздуха на охлаждение, нм ³ /ч	Продувыв воздуха через уплотнения, нм ³ /ч	Продувыв воздуха в тракте, нм ³ /ч	Итого, расход воздуха, нм ³ /ч	Температура спека, °С
7,5							551
15	2,54	227	235106	137950	4598	377644	395
30	2,42	143	243974	134797	4493	383260	290
45	2,36	99	249031	132959	4432	386421	217
60	2,32	73	251989	131870	4396	388255	167
75	2,29	57	253754	131215	4374	389343	131
90	2,28	46	254829	130815	4360	390004	104
Итого			1488683	799606	26653	2314927	
Итого, продувов воздуха 826259 нм ³ /ч — 35,7 %							

Исследование охлаждения агломерата на математической модели

Исходные данные вариантов расчетов охлаждения агломерата на модели приведены в табл. 4, а обобщенные результаты расчетов — в табл. 5.

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПАРАМЕТРЫ ВАРИАНТОВ РАСЧЕТОВ

Варианты	Производительность охладителя, т/ч / т/(м ² ·ч)	Высота слоя, мм	Прямая загрузка	Обратная загрузка	Равномерная укладка фракций по высоте слоя	Число вентиляторов ВДН-24/26	Скорость полотна охладителя, м/мин	Начальное распределение температур сверху вниз слоя, °С
1	449/1,426	700	+	—	—	6/—	1,75	900 → 375
2	497/1,577	700	+	—	—	6/—	1,93	900 → 375
3	495/1,572	700	+	—	—	5/1	1,93	900 → 375
4*1	449/1,426	700	+	—	—	6/—	1,75	900 → 375
5	495/1,57	700	+	—	—	6/—	1,93	1100 → 475
6	494/1,57	900	+	—	—	6/—	1,50	900 → 375
7	494/1,57	900	+	—	—	5/1	1,50	900 → 375
8	440/1,40	1200	+	—	—	6/—	1,00	900 → 375
9	495/1,57	1200	+	—	—	6/—	1,11	900 → 375
10	495/1,57	1200	+	—	—	6/2	1,11	900 → 375

Варианты	Производительность охладителя, т/ч / т/(м ² ·ч)	Высота слоя, мм	Прямая загрузка	Обратная загрузка	Равномерная укладка фракций по высоте слоя	Число вентиляторов ВДН-24/26	Скорость полотна охладителя, м/мин	Начальное распределение температур сверху вниз слоя, °С
11	495/1,57	700		+	—	6/—	1,93	375 → 900
12	495/1,57	900		+	—	6/—	1,50	375 → 900
13	494/1,57	900		+		6/—	1,50	475 → 1100
14	501/1,59	700			+	6/—	1,93	550
15	500/1,59	900			+	6/—	1,50	550
16* ²	495/1,57	700	+			6/—	1,93	900 → 375
17* ³	495/1,57	1200	+			6/2	1,12	900 → 375
18* ⁴	495/1,57	700	+			6/—	1,93	900 → 375

*¹ Фракционный состав материала принят по данным табл. 2 — мелкий агломерат после дробления.
*² Температура на всасе дутьевых вентиляторов 0 °С.
*³ Температура на всасе дутьевых вентиляторов 0 °С плюс 2 вентилятора ВДН-26.
*⁴ Щель продольного уплотнения увеличена с 3 до 5 мм.

ТАБЛИЦА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ОХЛАЖДЕНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОГО СПЕКА*

Варианты	$t_{сн\ нс}$, °С	$t_{сн\ ср}$, °С	$t_{сн\ max}$, °С	$T_{в\ ср}$, °С	$T_{в1}$	w_0 , мм/с	ΔP , кПа	$V_{уд}$, мм ³ /т	$V'_{уд}$, мм ³ /т
1	551	104	279	111	257	1,269	2,37	3315	5155
2	551	118	309	118	260	1,265	2,38	2990	4656
3	551	115	303	112	247	1,300	2,52	3080	4796
4	551	92	228	114	267	1,269	2,38	3300	5144
5	651	132	350	139	320	1,253	2,40	2974	4654
6	552	100	290	132	315	1,170	2,64	2780	4537
7	552	98	285	126	301	1,201	2,76	2855	4657
8	559	65	214	126	373	1,076	2,85	2875	4929
9	559	85	272	134	359	1,070	2,87	2537	4372
10	559	73	243	127	363	1,125	3,18	2669	4596
11	530	95	224	116	238	1,264	2,38	2998	4671
12	537	83	195	132	289	1,166	2,62	2774	4535
13	632	93	226	154	347	1,154	2,65	2751	4520
14	550	84	136	144	315	1,257	2,38	2958	4613
15	550	71	115	148	354	1,165	2,63	2739	4480
16	551	98	292	95	240	1,374	2,62	3255	4952
17	559	53	225	104	347	1,22	3,51	2895	4850
18	551	130	329	129	272	1,094	1,80	2594	4998

* $T_{в\ ср}$ — конечная температура спека; $t_{сн\ max}$ — максимальная конечная температура спека; $T_{в}$ — средняя температура воздуха на выходе из слоя; $T_{в1}$ — температура воздуха на выходе из слоя над первой дутьевой камерой (0–7,5 м); w_0 — средняя за время охлаждения скорость фильтрации воздуха на выходе из слоя; ΔP — среднее давление воздуха по рабочим дутьевым вентиляторам; $V_{уд}$ — удельный расход воздуха на охлаждение спека (без учета продувов воздуха через уплотнения); $V'_{уд}$ — общий удельный расход воздуха на охлаждение.

Охлаждение агломерата при базовой и увеличенной на 10 % загрузке охладителя при прямом (типовом) способе загрузки охладителя (варианты 1 и 2)

Результаты визуализации расчетов на модели, распределение температур аглоспека и воздуха по высоте слоя в процессе охлаждения и основных параметров процесса по длине охладителя в базовом варианте расчетов показаны на рис. 5–7.

Увеличение производительности охладителя с 450 до 495 т/ч сопровождается ростом средней температуры охлажденного спека со 104 до 118 °С по сравнению с базовой, а максимальной температуры — с 279 до 309 °С. Как отмечалось выше, при этом способе загрузки крупные куски агломерата преимущественно попадают в верх-

ную часть слоя, они плохо продуваются воздухом, к тому же нагретым в нижележащих слоях, и преимущественно охлаждаются теплопроводностью. Температура верхней части кусков агломерата ниже, чем их средней части (см. рис. 6 и 7), что обусловлено излучением в окружающее пространство с поверхности слоя. Это следует и из данных рис. 7 (кривая $t_{\text{верх}}$).

Увеличение скорости фильтрации воздуха на выходе из слоя w_0 по ходу процесса охлаждения обусловлено снижением его средней температуры.

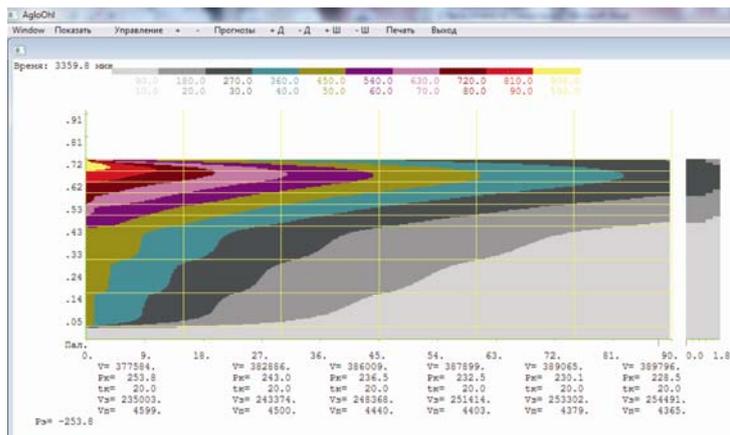


Рис. 5. Визуализация результатов расчета базового варианта охлаждения аглоспека:

“Показать” — демонстрация визуализации движущейся модели; “Управление” — изменение входных данных по ходу расчета; “Прогнозы” — функция для АСУТП; “Время” — общее время работы охладителя в режиме он-лайн; цветная шкала — диапазоны температур материала и воздуха, °С; V — расход воздуха через слой агломерата, $\text{м}^3/\text{ч}$; V_0 — производительность дутьевых вентиляторов, $\text{м}^3/\text{ч}$; P_x — давление в дутьевых камерах, даПа

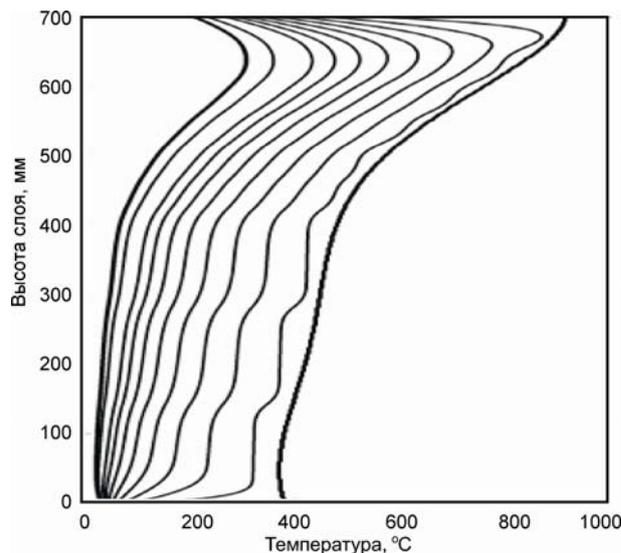


Рис. 6. Распределение температур аглоспека по высоте слоя при прямом способе загрузки аглоспека

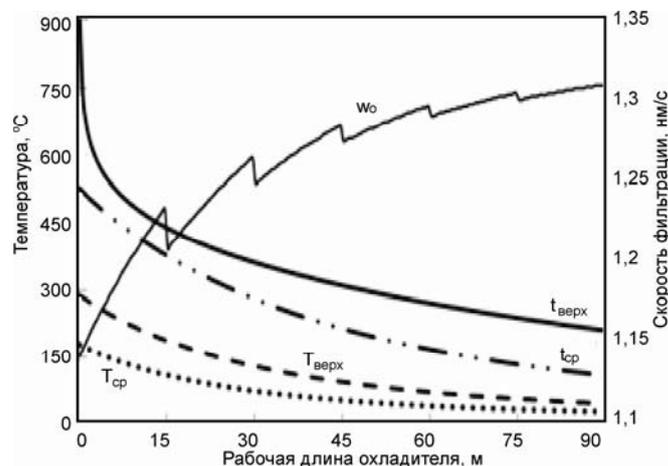


Рис. 7. Изменение по длине охладителя температуры аглоспека (t) и воздуха (T) средней по высоте слоя (ср) и на поверхности слоя (верх) при прямом способе загрузки аглоспека

Замена дутьевого вентилятора ВДН-24 на ВДН-26 (вариант 3)

Замена первого и даже двух первых по ходу охладителя дутьевых вентиляторов мало влияет на эффективность охлаждения аглоспека. Его средняя температура снижается со 118 до 115 °С по сравнению с вариантом 2, а максимальная — с 309 до 303 °С. Снижается и температура воздуха над зоной первого вентилятора (с 260 до 247 °С), растет общий расход воздуха на процесс охлаждения. Низкая эффективность охлаждения обусловлена тем,

что из-за более интенсивного охлаждения аглоспека в первой зоне интенсивность теплообмена в последующих зонах снижается, что не позволяет получить желаемый результат.

Однако, так как зона обслуживания охладителя первым дутьевым вентилятором находится под укрытием, увеличение скорости воздушного потока в этой зоне позволяет несколько уменьшить выбросы пыли на рабочую площадку за пределами укрытия.

Охлаждение агломерата пониженной крупности после дробления (вариант 4)

Для расчета охлаждения аглоспека в слое высотой 700 мм принят фракционный состав, при котором максимальная крупность куска аг-

ломерата не превышает 150 мм. Как следует из данных табл. 5, средняя температура охлажденного спека снижается со 104 до 92 °С, а макси-

мальная еще более существенно — с 279 до 228 °С. Следовательно, это мероприятие по

улучшению охлаждения агломерата, безусловно, является эффективным.

Охлаждение агломерата с повышенной начальной температурой (вариант 5)

В варианте 5 средняя заданная начальная температура спека выше на 100 °С по сравнению с вариантом 2. Расчетная конечная средняя температура охлажденного агломерата соответственно выше на 40 °С. Основное негативное влияние на эффективность охлаждения агломерата оказывает рост температуры крупных кусков агломерата. Ее увеличение с 900 до 1100 °С

по отношению к варианту 2 сопровождается ростом максимальной температуры охлажденного аглоспека с 309 до 350 °С. Поэтому тепловая стабильность процесса спекания шихты и его завершение на предпоследней вакуум-камере являются важными инструментами, обеспечивающими эффективное охлаждение аглоспека на охладителе.

Охлаждение агломерата в высоком слое (варианты 6–10)

Как отмечено выше, согласно работе [9] оптимальная высота насыпного слоя агломерата, при которой теплообмен приближается по совершенству к противоточному и достигается минимальный удельный расход воздуха на охлаждение, составляет ~1500 мм.

Этот вывод относится к периоду времени работы аглофабрик черной металлургии СССР, когда доля зернистых руд в агломерационной шихте была высока. На зарубежных агломерационных фабриках, спекающих рудные шихты, высоту слоя на кольцевых охладителях и в настоящее время поддерживают на уровне 1500 мм (это, кстати, свидетельствует о высокой достоверности теоретических расчетов работы [9]). Однако при спекании шихт на основе тонкоизмельченных железорудных концентратов, и потому содержащих в аглоспеке большое количество мелочи, увеличивать высоту слоя свыше 1200 мм неэффективно из-за высокого аэродинамического сопротивления слоя. Это относится и к условиям производства агломерата без отсева горячего возврата.

Сравнение средней и максимальной температуры спека на разгрузке и средней температуры охлаждающего воздуха на выходе из слоя разной высоты при производительности охладителя 495 т/ч характеризуется следующими расчетными данными:

Высота слоя, мм	700	900	1200
Средняя температура спека на разгрузке, °С	118	100	85
Максимальная температура на разгрузке, °С	309	290	272
Средняя температура воздуха над слоем, °С	121	128	135
Средняя температура воздуха над зоной № 1, °С	260	315	363

Увеличение высоты слоя аглоспека сопровождается повышением температуры воздуха на выходе из слоя, снижением скорости полотна охладителя и соответствующим увеличением времени охлаждения аглоспека. Несмотря на некоторое снижение скорости фильтрации воздуха, эффективность охлаждения аглоспека в целом повышается. Вместе с тем, если средняя температура аглоспека снижается достаточно сильно, то максимальная — незначительно. Дело в том, что с увеличением высоты слоя растет температура воздуха, омывающего крупные куски агломерата в верхней части слоя. К тому же основные недостатки — слабая продуваемость и преимущественное охлаждение больших кусков агломерата теплопроводностью, сохраняются.

На практике высоту слоя на линейных охладителях поддерживают ниже бортов тележек (имеющих высоту 800–1000 мм) на 150–200 мм, чтобы исключить пересыпание аглоспека через борта на площадку. При этом высота слоя несколько увеличивается к центральной оси тележек.

Задача увеличения высоты слоя, по крайней мере, на ~200 мм выше бортов тележек, может быть решена простым способом: для этого необходимо заузить нижнюю часть течки с грохота на охладитель и, соответственно, уменьшить скорость полотна последнего. Для уменьшения запыленности воздуха за пределами укрытия и некоторого улучшения охлаждения этот вариант может осуществляться с заменой первого дутьевого вентилятора ВДН-24 на ВДН-26.

Обратная загрузка агломерата на охладитель (варианты 11–13)

Визуализация результатов расчетов обратного способа загрузки аглоспека, распределение температур по высоте слоя в процессе его охлаждения и основные параметры процесса по длине охладителя при высоте слоя 700 мм показаны на рис. 8–10.

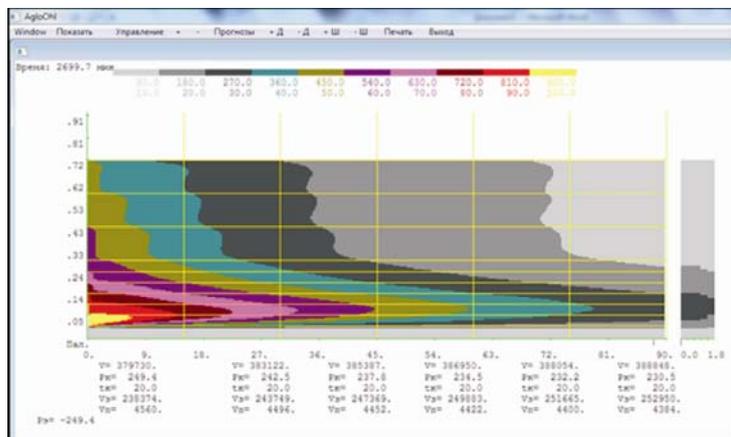


Рис. 8. Визуализация результатов расчета охлаждения при обратном способе загрузки аглоспека

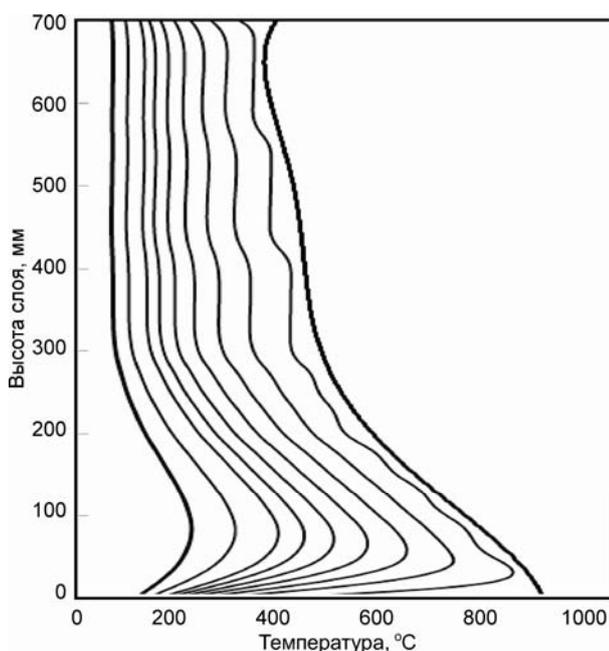


Рис. 9. Распределение температур аглоспека по высоте слоя при обратном способе загрузки аглоспека на охладитель

Согласно данным табл. 5, средняя температура охлажденного спека снижается по отношению к варианту 2 со 118 до 95 °С, а максимальная — с 309 до 224 °С. При высоте слоя 900 мм

эти температуры снижаются до 83 и 195 °С соответственно.

При высоте слоя 900 мм увеличение начальной температуры аглоспека на 100 °С (вариант 13) сопровождается умеренным ростом средней и максимальной температуры охлажденного аглоспека — до 93 и 226 °С соответственно.

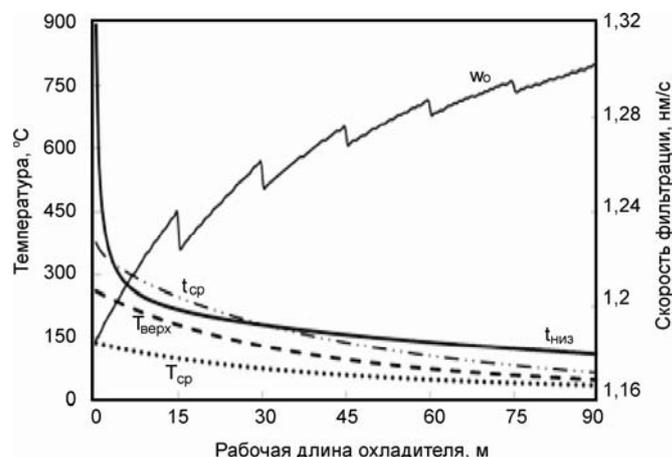


Рис. 10. Изменение по длине охладителя температур аглоспека (t) и воздуха (T) при обратном способе загрузки аглоспека на охладитель

Распределение температур аглоспека в слое является зеркальным по отношению к температурам при прямом способе загрузки (см. рис. 8), при этом поток радиации в этом режиме работы охладителя направлен от крупных раскаленных кусков на колосниковую решетку и рядом расположенные частицы.

Анализ данных рис. 2 и 3 показывает, что при обратном способе загрузки аглоспека уменьшается общее количество крупной фракции, а в нижней части слоя растет доля мелкой фракции по отношению к крупной. Это обусловлено дополнительными нагрузками и разрушением агломерата в течке при повороте потока аглоспека на 180 град.

Как следствие, растет число мелких и средних частиц вокруг крупных кусков агломерата, увеличивается разность давлений воздуха на их границах и скорость фильтрации воздуха через эти куски и, в конечном итоге, повышается эффективность охлаждения спека.

Вместе с тем данные промышленных исследований работы [11] позволяют предположить, что эффективность способа обратной загрузки в модельных исследованиях несколько недооценена и она выше полученной расчетами.

Равномерное распределение фракций агломерационного спека по высоте слоя (варианты 14 и 15)

Визуализация расчетов равномерного способа загрузки агломерационного спека (при высоте слоя 700 мм) показана на рис. 11, распределение температур по высоте слоя — на рис. 12, а распределение по длине охладителя основных параметров — на рис. 13.

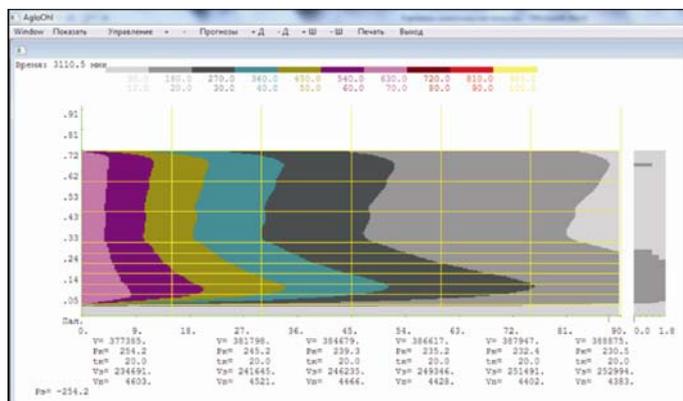


Рис. 11. Визуализация результатов расчета охлаждения при равномерном способе загрузки аглоспека

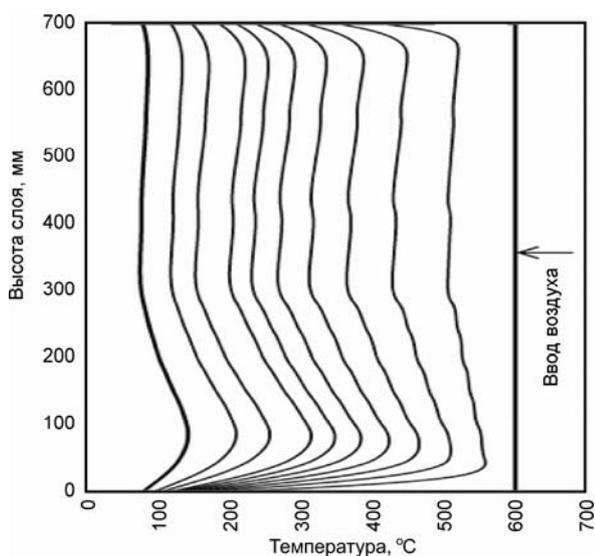


Рис. 12. Распределение температур аглоспека по высоте слоя при равномерном способе загрузки аглоспека

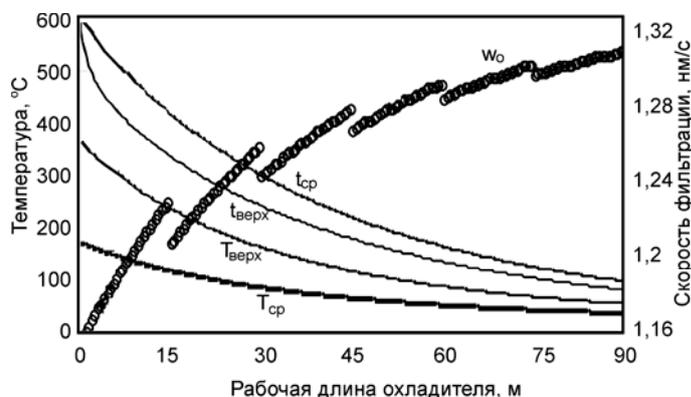


Рис. 13. Распределение по длине охладителя температур аглоспека (t) и воздуха (T) при равномерном способе загрузки аглоспека

При равномерном способе загрузки аглоспека крупные, мелкие и средние куски и частицы относительно равномерно распределяются в объеме слоя, проблемные крупные куски агломерата окружены мелкой и средней фракциями и хорошо продуваются воздухом, который быстро нагревается до средней температуры слоя, вынося из него максимально возможное количество тепла. Поэтому теплообмен в таком слое наиболее совершенен, в том числе и с точки зрения эффективности утилизации тепла агломерата.

Сочетание экономного расхода энергии на охлаждение агломерата и низкой конечной максимальной температуры позволяет рассматривать способ равномерной загрузки как весьма перспективный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 1. Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию [Текст] / Ю. А. Фролов // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". — 2017. — № 4. — С. 33–40.
2. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 2. Смешивание и окомкование агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 5. — С. 40–48.
3. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 3. Загрузка шихты и постели на агломерационную машину [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 6. — С. 22–31.
4. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 4. Внешний нагрев агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 7. — С. 31–41.
5. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 5. Газодинамическая работа агломерационных машин [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 8. — С. 21–32.
6. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 6. Спекание агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 9. — С. 29–39.

7. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 7. Качество агломерата [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 10. — С. 40–53.
8. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 8. Охлаждение агломерата на агломерационной машине [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 11. — С. 32–42.
9. Бабушкин, Н. М. Охлаждение агломерата и окатышей [Текст] / Н. М. Бабушкин, С. Г. Братчиков, Г. Н. Намятов [и др.]. — М.: Металлургия, 1975. — 208 с.
10. Раков, А. И. Технично-экономический анализ способов охлаждения агломерата [Текст] / А. И. Раков, Б. С. Расин, Э. А. Певная. Повышение качества окускования материалов // Темат. отрасл. сб. — 1984. — № 1. — С. 4.
11. Расин, Б. С. Рациональная тепловая схема охлаждения агломерата на линейном охладителе [Текст] / Б. С. Расин, А. И. Раков, В. Н. Бургов, Ю. А. Фролов // Интенсификация процессов окускования: сб. науч. тр. — Киев: Наукова думка, 1987. — С. 107–111.
12. Фролов, Ю. А. Анализ охлаждения агломерата на линейном охладителе [Текст] / Ю. А. Фролов, Л. И. Полоцкий, Л. И. Каплун // Сталь. — 2017. — № 2. — С. 2–9.
13. Фролов, Ю. А. Реконструкция аглолинии агломашини АКМ-312/336 металлургического комбината “АрселорМиттал Темиртау”. Ч. 2 [Текст] / Ю. А. Фролов, М. Ф. Витущенко // Металлург. — 2016. — № 12. — С. 31–38.

УДК 669.162.263

ПОДГОТОВКА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ТИТАНОМАГNETИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА ТИТАНА*

*А. Н. ДМИТРИЕВ, д-р техн. наук, andrey.dmitriev@mail.ru; Р. В. ПЕТУХОВ
(ФГБУН “Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук”)*

В Институте металлургии Уральского отделения РАН и ряде других организаций многие годы ведутся фундаментальные и прикладные работы по разработке и совершенствованию технологии переработки титаномагнетитовых руд [1–3]. В последнее время работы в этом направлении стали представлять больший интерес в связи с предстоящим вовлечением в эксплуатацию Собственно-Качканарского месторождения наряду с развитием Гусевогорского месторождения [4–13].

В данной работе приведены результаты последних лабораторных исследований по моделированию пошагового вовлечения в переработку титаномагнетитовых руд с повышенным содержанием диоксида титана.

В табл. 1 приведен химический состав исследуемых концентратов: ТМК — низкотитанистый концентрат (титаномагнетитовый концентрат Гусевогорского месторождения текущего производства), ВТК — высокотитанистый концентрат (концентрат Гусевогорского месторождения при отдельной добыче, аналог концентрата Собственно-Качканарского месторождения) [4]. В табл. 2 показано соотношение исходных концентратов ТМК и ВТК в пробах 1/0–0/1.

**ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ИССЛЕДУЕМЫХ КОНЦЕНТРАТОВ, %**

Концентрат	Fe _{общ}	FeO	CaO	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅
ТМК	62,4	28,03	1,28	4,19	2,67	0,58
ВТК	63,83	29,34	0,97	2,89	3,4	0,7

ТАБЛИЦА 2. СООТНОШЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ, %

Проба											
1/0		1/20		1/40		1/60		1/80		0/1	
ТМК	ВТК	ТМК	ВТК	ТМК	ВТК	ТМК	ВТК	ТМК	ВТК	ТМК	ВТК
100	0	80	20	60	40	40	60	20	80	0	100

* Работа выполнена в рамках Государственного задания ИМет УрО РАН по теме № 0396-2015-0081.

Окатыши получали на лабораторном окомкователе, скорость вращения — 20 об/мин, угол наклона — 20 град. В качестве связующего вещества добавляли бентонит в количестве 0,7 %.

После формирования определяли прочность на сжатие для сырых и сухих окатышей (табл. 3). Сушка проводилась при температуре 105 °С в течение 120 мин.

ТАБЛИЦА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ СЫРЫХ И СУХИХ ОКАТЫШЕЙ НА СЖАТИЕ, кг/окатыш

Окатыши	Проба					
	1/0	1/20	1/40	1/60	1/80	0/1
Сырые	0,99	2,13	1,79	1,22	1,82	1,94
Сухие	3,48	4,5,	4,31	3,69	5,16	5,32

В табл. 4 приведены результаты исследования пластичности сырых и сухих лабораторных окатышей при сбрасывании с высоты $h = 400$ мм.

ТАБЛИЦА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ СЫРЫХ И СУХИХ ОКАТЫШЕЙ, число сбрасываний

Окатыши	Проба					
	1/0	1/20	1/40	1/60	1/80	0/1
Сырые	2,87	2,87	2,80	2,87	2,87	2,87
Сухие	1,60	1,60	1,67	1,60	1,60	1,67

В табл. 5 приведены результаты исследования прочности на сжатие лабораторных, обожженных при 1200 °С окатышей. Обжиг проводили на лабораторной установке, скорость нагрева и охлаждения 60 град/мин. В табл. 6 приведены результаты исследования прочности на сжатие лабораторных, обожженных при 1300 °С окатышей.

ТАБЛИЦА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ, ОБОЖЖЕННЫХ ПРИ 1200 °С ОКАТЫШЕЙ, кг/окатыш

Проба	Средний размер окатышей, мм	Прочность окатышей
1/0	14,2	186
1/20	13,8	188
1/40	14,1	189
1/60	14,4	186
1/80	14,2	189
0/1	13,9	183

ТАБЛИЦА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ, ОБОЖЖЕННЫХ ПРИ 1300 °С ОКАТЫШЕЙ, кг/окатыш

Проба	Средний размер окатышей, мм	Прочность окатышей
1/0	14,6	173
1/20	14,2	179
1/40	14,4	187
1/60	14,0	187
1/80	14,6	207
0/1	14,2	203

В табл. 7 приведены результаты исследования прочности обожженных при 1200 °С окатышей после низкотемпературного восстановления (Линдер) по ISO 13930.

ТАБЛИЦА 7. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ОКАТЫШЕЙ ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Проба	LTD, %		
	+6,3	-3,15	-0,5
1/0	87,56	7,59	6,11
1/20	85,76	7,61	6,06
1/40	90,72	5,25	4,92
1/60	87,08	11,05	6,27
1/80	86,49	6,62	6,13
0/1	90,35	4,98	3,47

В табл. 8 приведены результаты исследования температурного интервала размягчения обожженных окатышей по ГОСТ 26517–85.

ТАБЛИЦА 8. ТЕМПЕРАТУРЫ НАЧАЛА РАЗМЯГЧЕНИЯ И ПЛАВЛЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ ПО ГОСТ 26517–85, °С

Проба	Температура начала размягчения	Температура плавления
1/0	1200	1310
1/20	1200	1320
1/40	1210	1300
1/60	1220	1310
1/80	1230	1320
0/1	1220	1300

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что увеличение содержания диоксида титана в окатышах по мере увеличения количества вводимого в них концентрата с повышенным содержанием TiO_2 не вызывает ухудшения в качестве подготовки железорудного сырья к доменной плавке. В то же время, как видно из табл. 3–7, увеличивается прочность на сжатие сырых и сухих окатышей, прочность на сжатие обожженных при 1300 °С окатышей. Увеличиваются горячая прочность и температура

начала размягчения, снижается температурный интервал размягчения окатышей, что положительно скажется на основных технико-экономических показателях доменной плавки — расходе кокса и производительности.

В дальнейшем планируется провести исследование особенностей шлакового режима и оценить с помощью математических моделей показатели доменной плавки: состав чугуна и шлака, выход шлака, состав колошникового газа и другие показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонтьев, Л. И. Пирометаллургическая переработка комплексных руд [Текст] / Л. И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С. В. Шаврин, Н. С. Шумаков. — М.: Металлургия, 1997. — 432 с.
2. Смирнов, Л. А. Металлургическая переработка ванадийсодержащих титаномагнетитов [Текст] / Л. А. Смирнов, Ю. А. Дерябин, С. В. Шаврин. — Челябинск: Металлургия, 1990. — 256 с.
3. Гаврилюк, Г. Г. Доменная плавка титаномагнетитов [Текст] / Г. Г. Гаврилюк, Ю. А. Леконцев, С. Д. Абрамов. — Тула: АССОД, 1997. — 216 с.
4. Dmitriev, A. N. The Characteristic of Ores and Concentrates of the Open Society EVRAZ KGOK [Text] / A. N. Dmitriev, G. Yu. Vitkina, R. V. Petukhov [et al.] // *Advanced Materials Research*. — 2014. — V. 834–836. — P. 364–369.
5. Витькина, Г. Ю. Изучение металлургических свойств титаномагнетитового сырья [Текст] / Г. Ю. Витькина, А. Н. Дмитриев, Р. В. Петухов, Ю. А. Чесноков // *Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”*. — 2015. — № 12. — С. 26–29.
6. Дмитриев, А. Н. Современное состояние, перспективы развития и освоения базы титаносодержащих руд Урала [Текст] / А. Н. Дмитриев // Там же. — 2015. — № 12. — С. 36–40.
7. Корнилков, С. В. Раздельная переработка руд Гусевогорского месторождения [Текст] / С. В. Корнилков, А. Н. Дмитриев, А. Е. Пелевин, А. М. Яковлев // *Горный журнал*. — 2016. — № 5. — С. 86–90.
8. Dmitriev, A. N. The Reduction Processes of the Titaniumcontaining Iron Ores Treatment [Text] / A. N. Dmitriev, R. V. Petukhov, G. Yu. Vitkina [et al.] // *Defect and Diffusion Forum (Diffusion in Solids and Liquids XI)*. — 2016. — V. 369. — P. 6–11.
9. Дмитриев, А. Н. Использование информационных технологий в разработке и совершенствовании пирометаллургической переработки железорудного сырья [Текст] / А. Н. Дмитриев // *Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”*. — 2016. — № 11. — С. 27–29.
10. Dmitriev, A. N. The Oxidizing Roasting and Reducing Melting of Titaniferous and Conversion Iron Ores [Text] / A. N. Dmitriev, G. Y. Vitkina, R. V. Petukhov, L. A. Ovchinnikova // *Defect and Diffusion Forum*. — 2016. — V. 371. — P. 117–120.
11. Дмитриев, А. Н. Физико-химические и теплофизические основы переработки титаномагнетитовых руд [Текст] / А. Н. Дмитриев, В. Ю. Носков // *Металлург*. — 2017. — № 5. — С. 42–45.
12. Дмитриев, А. Н. Аналитическое исследование влияния качества титаномагнетитового сырья на показатели доменной плавки [Текст] / А. Н. Дмитриев // *Изв. вузов: Черная металлургия*. — 2017. — Т. 60. — № 8. — С. 609–615.
13. Dmitriev, A. N. The physicochemical bases of the pyrometallurgical processing of the titanomagnetite ores [Text] / A. N. Dmitriev, G. Yu. Vitkina, R. V. Petukhov / *Pure and Applied Chemistry (Papers from the XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry (Mendeleev XX))*. — 2017. — V. 89. — Is. 10. — P. 1543–1551.

ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ, ЗАГРУЖАЕМОЙ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ*

*С. К. СИБАГАТУЛЛИН, д-р техн. наук, 10tks@mail.ru; А. С. САВИНОВ, д-р техн. наук;
А. С. ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук; Л. Д. ДЕВЯТЧЕНКО, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»)*

Постановка проблемы

Для работы печи с высокой производительностью и низким удельным расходом кокса необходимо обеспечивать равномерное распределение материалов [1–4] и газов [5–7] по окружности печи и оптимальное размещение шихты по радиусу колошника [1]. Возможная величина снижения удельного расхода кокса составляет 7 % [8]. При работе печи с компактным загрузочным устройством лоткового типа не возникает проблем с обеспечением заданной рудной нагрузки по сечению колошника. Разработанные матрицы загрузки шихты на 11 станций углового положения лотка на доменных печах Канады (компания Hamilton Works), Германии (компания ArcelorMittal Eisenhu), Японии, Испании и Украины позволяли получать заданный профиль шихты по радиусу колошника и вести плавку с высокими технико-экономическими показателями [1, 9–13]. При этом сложно обеспечить равномерное распределение шихты по окружности

[14–17] по разным причинам. Одной из них является многокомпонентность загружаемой шихты [18, 19]. Например, в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» помимо железорудных материалов — агломерата и окатышей в ее составе присутствуют коксовый орешек или коксовая фракция, кварцит, промывочные материалы, такие как железная или марганцевая руда. Кроме того, материалы поступают в доменную печь неоднородными по крупности и различными по качеству [20–22]. Из-за этого получают различными траектории движения компонентов шихты от лотка до поверхности ранее сформировавшегося слоя, вследствие чего происходит неравномерное расположение их, что ухудшает ход процессов и показатели работы доменной печи. Для устранения неравномерности необходимо оценить источники ее возникновения.

Методы

Для выявления источников неравномерного распределения провели физическое моделирование различных режимов загрузки компонентов шихты в колошниковое пространство печи. Опыты провели по схеме полного двухфакторного эксперимента с варьированием на трех уровнях (табл. 1).

**ТАБЛИЦА 1. МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА $N = 3^2$**

Номер опыта	Факторы	
	доля агломерата, располагающегося под окатышами, %	содержание окатышей, %
1	0	10
2	50	10
3	100	10
4	0	30
5	50	30
6	100	30
7	0	50
8	50	50
9	100	50

В процессе эксперимента в бункер бесконусного загрузочного устройства (БЗУ) загружали агломерат и окатыши. Окатыши располагали под агломератом, в среднем его слое и над ним. Варьировали содержание окатышей в интервале от 10 до 50 %, оставляя неизменным общий объем загружаемых в бункер материалов, выпускаемых в колошниковое пространство печи. По ходу выпуска отбирали пять порций материала равного объема и рассеивали по фракциям 1–3; 3–5; 5–8; 8–10; 10–12; 12–15; 15–17,5; 17,5–25; >25 мм, после чего отделяли компоненты шихты друг от друга и взвешивали их. Для получения достоверной информации каждый эксперимент дублировали. Причины неравномерности распределения агломерата и окатышей выявлялись в каждом опыте методом дисперсионного анализа [23]. В качестве выходных переменных (откликов) использовали распределение массы исследуемых материалов по группам крупности и номеру порции.

* Результаты получены в рамках государственного задания Минобрнауки России № 11.8979.2017/БЧ.

Таким образом, для каждого из опытов матрицы планирования $N = 3^2$ (см. табл. 1) были получены двухфакторные дисперсионные комплексы с числом опытов $N = qmn = 5 \cdot 9 \cdot 2 = 90$, где q — уровни (категории) фактора Q (номер порции); m — категории фактора M (крупность); n — число повторений. Число степеней свободы, необходимое для оценки общей дисперсии, составит $k_Y = k_Q + k_M + k_{QM} + k_{Er}$ или, что то же для данного комплекса, $k_Y = qmn - 1 = 5 \cdot 9 \cdot 2 - 1 = 89$.

При этом число степеней свободы k_{Er} , требуемое для расчета внутригрупповой дисперсии, определяется произведением $(n - 1)$ на число ячеек плана, т. е. $k_{Er} = qm(n - 1)$.

Группировку данных двухфакторного комплекса всегда можно представить двумя вариантами в формате однофакторного плана. Например, если рассматривать с позиции фактора Q , то план эксперимента будет выглядеть в соответствии с табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. СПОСОБ ГРУППИРОВКИ ДАННЫХ В ДВУХФАКТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ПОЗИЦИИ ФАКТОРА Q

Группы фактора Q	Q_1				...	Q_q			
	M_1	M_2	...	M_m		M_1	M_2	...	M_m
Подгруппы фактора M	Y_{111}	Y_{121}	...	Y_{1m1}	...	Y_{q11}	Y_{q21}	...	Y_{qm1}
Результаты наблюдений
	Y_{11n}	Y_{12n}	...	Y_{1mn}	...	Y_{q1n}	Y_{q2n}	...	Y_{qmn}

Схема группировки, представленная в табл. 2, воспроизводит однофакторный (для кумулятивного фактора X) эксперимент с числом qm групп. Тогда основное дисперсионное тождество имеет вид $SS_Y = SS_X + SS_{Er}$ с числами степеней

свободы комплекса $k_Y = qmn - 1$, $k_X = qm - 1$, $k_{Er} = qm = N - qm$, где $N = qmn$. Для данной классификации полную сумму квадратов рассеивания отклика можно представить в виде:

$$SS_Y = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n (y_{ijt} - \bar{y}_{000})^2 = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n (\bar{y}_{ij0} - \bar{y}_{000})^2 + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n (y_{ijt} - \bar{y}_{ij0})^2.$$

Для двухфакторного дисперсионного комплекса факторная (для кумулятивного фактора X) сумма квадратов $SS_X = SS_N + SS_K + SS_{NK}$, т. е. сумма квадратов между ячейками

квадратов по фактору Q (столбцы в матрице эксперимента), сумму квадратов по фактору M (строки) и сумму квадратов эффекта взаимодействия этих факторов (пересечение строк и столбцов) или

$SS_X = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m n(\bar{y}_{ij0} - \bar{y}_{000})^2$ разлагается на сумму

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m n(\bar{y}_{ij0} - \bar{y}_{000})^2 &= nm \sum_{i=1}^q (\bar{y}_{i00} - \bar{y}_{000})^2 + nq \sum_{j=1}^m (\bar{y}_{0j0} - \bar{y}_{000})^2 + \\ &+ \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m (\bar{y}_{ij0} - \bar{y}_{i00} - \bar{y}_{0j0} + \bar{y}_{000})^2, \end{aligned}$$

где $\bar{y}_{i00} = \frac{1}{nm} \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n y_{ijt}$ — среднее в i -м столбце,

ячейке; $\bar{y}_{000} = \frac{1}{qmn} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n y_{ijt}$ — общее

$i = \overline{1, q}$; $\bar{y}_{0j0} = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^q \sum_{t=1}^n y_{ijt}$ — среднее в j -й

среднее.

строке; $j = \overline{1, m}$; $\bar{y}_{ij0} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_{ijt}$ — среднее в ij -й

Тогда план двухфакторного дисперсионного комплекса будет выглядеть в соответствии с табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. СПОСОБ ГРУППИРОВКИ ДАННЫХ ДВУХФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО КОМПЛЕКСА ПО СХЕМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ МАТРИЦЫ

M	Q				Среднее строк
	Q ₁	Q ₂	...	Q _q	
M ₁	Y ₁₁₁ , Y ₁₁₂ , ... Y _{11n}	Y ₂₁₁ , Y ₂₁₂ , ... Y _{21n}	...	Y _{q11} , Y _{q12} , ... Y _{q1n}	\bar{y}_{010}
M ₂	Y ₁₂₁ , Y ₁₂₂ , ... Y _{12n}	Y ₂₂₁ , Y ₂₂₂ , ... Y _{22n}	...	Y _{q21} , Y _{q22} , ... Y _{q2n}	\bar{y}_{020}
...
M _m	Y _{1m1} , Y _{1m2} , ... Y _{1mn}	Y _{2m1} , Y _{2m2} , ... Y _{2mn}	...	Y _{qm1} , Y _{qm2} , ... Y _{qmn}	\bar{y}_{0m0}
Среднее столбцов	\bar{y}_{100}	\bar{y}_{200}	...	\bar{y}_{q00}	\bar{y}_{000}

Для двухфакторного дисперсионного анализа с n наблюдениями для каждого сочетания уровней факторов модель имеет вид

$$y_{ijt} = M(Y) + \alpha_j + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijt},$$

где $M(Y)$ — математическое ожидание наблюдаемых результатов по всей совокупности наблюдений; α_i, β_i — эффекты факторов Q и M соответственно на i, j уровнях ($i = 1, q; j = 1, m$); $(\alpha\beta)_{ij}$ — эффекты взаимодействия факторов Q и M ; ε_{ijt} — случайные ошибки наблюдаемого в (ij) ячейке t -результата, $t = 1, n$.

Для выборки объемом $N = qmn$ опытов математическое ожидание $M(Y) = \bar{y}_{000} + \varepsilon_{000}$, где ε_{000} — средняя ошибка общего среднего. Суммы определяемых эффектов по всем соответствующим для них уровням

$$\sum_{i=1}^q \alpha_j = \sum_{j=1}^m \beta_j = \sum_{i=1}^q (\alpha\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^m (\alpha\beta)_{ij} = 0.$$

Параметры, входящие в модель для описания наблюдаемых результатов y_{ijt} , связаны с соответствующими средними и их средними ошибками следующим образом:

$$\text{среднее строк } \bar{y}_{i00} = M(Y) + \alpha_i + \overline{\varepsilon_{i00}};$$

$$\text{среднее столбцов } \bar{y}_{0j0} = M(Y) + \beta_j + \overline{\varepsilon_{0j0}};$$

среднее ячеек

$$\bar{y}_{ij0} = M(Y) + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \overline{\varepsilon_{ij0}};$$

$$\text{общее среднее } \bar{y}_{000} = M(Y) + \overline{\varepsilon_{000}}.$$

Таким образом, дисперсионный анализ в двухфакторном комплексе был выполнен на основе формул, приведенных в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ПОЛНОГО ДВУХФАКТОРНОГО КОМПЛЕКСА С ОДИНАКОВЫМ ПОВТОРЕНИЕМ ОПЫТОВ В КАЖДОЙ ЯЧЕЙКЕ ПЛАНА

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов отклонений	Оценка дисперсий
Между столбцами	$k_Q = q - 1$	$SS_Q = mn \sum_{i=1}^q (\bar{y}_{i00} - \bar{y}_{000})^2$	$S_Q^2 = \frac{SS_Q}{k_Q}$
Между строками	$k_M = m - 1$	$SS_M = qn \sum_{j=1}^m (\bar{y}_{0j0} - \bar{y}_{000})^2$	$S_M^2 = \frac{SS_M}{k_M}$
Взаимодействие	$k_{QM} = (q - 1)(m - 1)$	$SS_{QM} = n \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m (\bar{y}_{ij0} - \bar{y}_{i00} - \bar{y}_{0j0} + \bar{y}_{000})^2$	$S_{QM}^2 = \frac{SS_{QM}}{k_{QM}}$
Внутри ячеек	$k_{Er} = qm(n - 1)$	$SS_{Er} = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n (y_{ijt} - \bar{y}_{ij0})^2$	$S_{Er}^2 = \frac{SS_{Er}}{k_{Er}}$
Общая сумма	$k_Y = qm(n - 1)$	$SS_Y = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^n (y_{ijt} - \bar{y}_{000})^2$	—

Для оценки достоверности выводов по результатам анализа двухфакторного дисперсионного комплекса определяли дисперсионные от-

ношения Фишера [24] соответственно для входных переменных Q и M и их взаимодействия:

$$F_Q = \frac{S_Q^2}{S_{Er}^2}; \quad F_M = \frac{S_M^2}{S_{Er}^2}; \quad F_{QM} = \frac{S_{QM}^2}{S_{Er}^2}.$$

$$\eta_Q^2 = \frac{SS_Q}{SS_Y}; \quad \eta_M^2 = \frac{SS_M}{SS_Y}; \quad \eta_{QM}^2 = \frac{SS_{QM}}{SS_Y};$$

$$\eta_{\text{Ош}}^2 = \frac{SS_{\text{Ош}}}{SS_Y}.$$

В завершение оценивали долю источника рассеивания в общей их сумме $SS_Y = SS_Q + SS_M + SS_{QM} + SS_{Er}$, используя соответствующие корреляционные отношения вида:

Результаты

Результаты распределения агломерата и окатышей по порциям и крупности в опыте № 1 в процессе выпуска их из БЗУ лоткового типа в ко-

лошниковое пространство печи приведены в табл. 5 и 6.

ТАБЛИЦА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ МАССЫ АГЛОМЕРАТА ПО ПОРЦИЯМ И ФРАКЦИЯМ В ОПЫТЕ № 1

Уровни факторов	1	2	3	4	5	Сумма строк
>25, мм	984	1382	1077	1295	1236	5973
17,5–25, мм	2654	4686	3542	3740	3501	18122
15–17,5, мм	1616	2796	2550	2659	2567	12189
12–15, мм	2381	3350	5226	5553	3756	20266
10–12, мм	1093	5427	3018	3363	2937	15837
8–10, мм	829	2947	3628	3214	3569	14186
5–8, мм	271	754	542	1090	1113	3770
3–5, мм	39	97	100	141	123	498
1–3, мм	18	45	45	56	129	293
Сумма столбцов	9884	21483	19728	21109	18929	91134

ТАБЛИЦА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ МАССЫ ОКАТЫШЕЙ ПО ПОРЦИЯМ И ФРАКЦИЯМ В ОПЫТЕ № 1

Уровни факторов	1	2	3	4	5	Сумма строк
>25, мм	28	0	0	0	0	28
17,5–25, мм	565	24	32	0	0	621
15–17,5, мм	1079	19	125	85	214	1522
12–15, мм	8017	107	50	28	248	8451
10–12, мм	803	339	0	36	316	1493
8–10, мм	3	0	0	0	0	3
5–8, мм	0	0	0	0	0	0
3–5, мм	0	0	0	0	0	0
1–3, мм	0	0	0	0	0	0
Сумма столбцов	10495	489	207	149	778	12118

Из анализа табл. 5 и 6 видно, что агломерат и окатыши по крупности и порциям распределяются неравномерно. Масса агломерата в порциях № 1 и 4 различается более чем в 2 раза. Превышение массы окатышей в порции № 1 по сравнению с суммарной массой порций № 2–5 составляет более чем 5 раз. Дисперсионные от-

ношения Фишера на уровне значимости $p \leq 0,05$ (табл. 7 и 8) свидетельствуют о существенном влиянии входных переменных, характеризующих распределение материала по номеру порции (Q) и крупности (M), включая их взаимодействие (QM).

ТАБЛИЦА 7. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГЛОМЕРАТА В ОПЫТЕ № 1

Источник рассеивания	SS	F	p	η^2	Общая SS	Общая дисперсия	Ошибка эксперимента
Q	468	16,3	0,00	0,09	5164	58	2,679
M	3983	69,5	0,00	0,77			
QM	390	1,7	0,05	0,08			
Ошибка	323	—	—	0,06			

ТАБЛИЦА 8. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ В ОПЫТЕ № 1

Источник рассеивания	SS	F	p	η^2	Общая SS	Общая дисперсия	Ошибка эксперимента
Q	468	225,7	0,00	0,13	3454	39	1,155
M	649	156,6	0,00	0,19			
QM	2276	139,4	0,00	0,66			
Ошибка	60	—	—	0,02			

Общие результаты дисперсионного анализа для всего комплекса исследований сведены в табл. 9. Наиболее существенное влияние на неравномерность распределения компонентов

шихты оказывает крупность материала (признак *M*). Для агломерата и окатышей средняя доля для признака *M* составляет 0,71 и 0,61 соответственно (см. табл. 9).

ТАБЛИЦА 9. ОЦЕНКА ДОЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ РАССЕИВАНИЯ ДЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Номер опыта	Доли источников рассеивания по признакам относительно общей SS, принятой за 1									
	для признаков агломерата					для признаков окатышей				
	SS	Q	M	QM	Er	SS	Q	M	QM	Er
1	5164	0,09	0,77	0,08	0,06	3454	0,13	0,19	0,66	0,02
2	4597	0,00	0,87	0,06	0,07	487	0,04	0,79	0,13	0,04
3	4401	0,01	0,90	0,03	0,06	572	0,08	0,57	0,27	0,08
4	5081	0,25	0,52	0,18	0,05	8569	0,15	0,38	0,45	0,02
5	3376	0,02	0,86	0,06	0,06	4115	0,02	0,69	0,22	0,07
6	3284	0,08	0,83	0,07	0,02	5005	0,05	0,74	0,19	0,02
7	3282	0,27	0,45	0,19	0,09	12750	0,07	0,61	0,30	0,02
8	2303	0,13	0,62	0,11	0,14	10229	0,03	0,79	0,16	0,02
9	3062	0,20	0,59	0,15	0,06	11652	0,05	0,74	0,18	0,03
Среднее	3839	0,12	0,71	0,10	0,07	6315	0,07	0,61	0,28	0,04

Варьирование долей массы материала (признака *Q*) в опытах № 1–9 для агломерата и окатышей находилось в диапазонах от 0,01 до 0,27 и от 0,02 до 0,15 соответственно. Распределение материалов по порциям зависело от содержания окатышей в железорудной части шихты и последовательности их загрузки в бункер БЗУ. Наиболее высокую долю влияния переменной *Q* как источника рассеивания вызывали повышенная доля содержания окатышей (опыты № 7–9) и расположение их в нижней части бункера БЗУ (опыты № 1, 4, 7). При совместном действии перечисленных условий величина доли переменной *Q* для агломерата была максимальной и составляла 0,27.

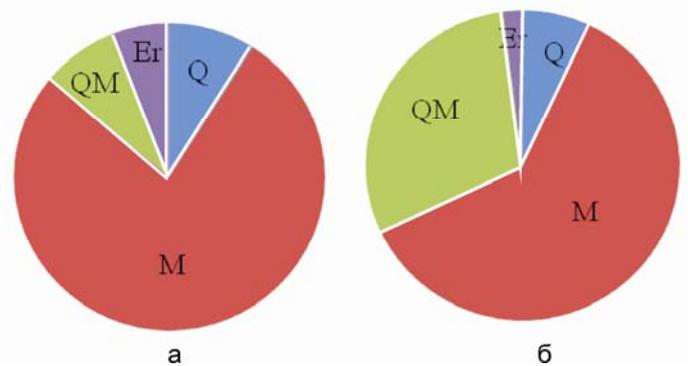


Рис. 2. Максимальные величины SS_y и их разложения на объясняющие компоненты для агломерата (а, $SS_{y(max)} = 5164$) и окатышей (б, $SS_{y(max)} = 12750$)

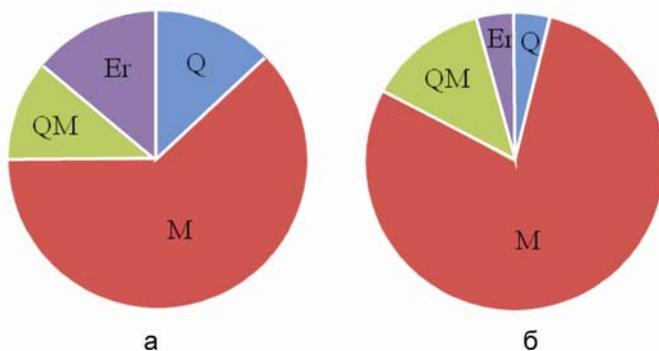


Рис. 1. Минимальные величины SS_y и их разложения на объясняющие компоненты для агломерата (а, $SS_{y(min)} = 2303$) и окатышей (б, $SS_{y(min)} = 487$)

Для окатышей весомое значение имело взаимодействие признаков *Q* и *M* со средней долей влияния 0,28. Максимальные доли влияния взаимодействий, равные 0,66; 0,45 и 0,30, наблюдали для условий размещения окатышей в нижней части бункера БЗУ с их содержанием от железорудной части шихты 10, 30 и 50 % соответственно.

Таким образом, методом дисперсионного анализа были выявлены источники возмущений, объясняющих общую дисперсию наблюдаемой неравномерности при разных режимах загрузки

железорудных материалов (агломерата и окатышей) в колошниковое пространство доменной печи. При этом доля ошибки воспроизводимости эксперимента в общей дисперсии резуль­тативного признака колебалась в диапазоне от 2 до 14 % в опытах с агломератом и от 2 до 8 % в

опытах с окатышами. Минимальная и максимальная неравномерности, определяемые на основе SS_y , с разложением ее на объясняющие компоненты, представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Заключение

1. Дисперсионным анализом выявили источники неравномерного распределения железорудной шихты, загружаемой в доменную печь. Наиболее существенное действие оказывает крупность материалов. Средние доли влияния для агломерата и окатышей составляли 0,71 и 0,62 соответственно. Остальное приходилось на распределение массы по порциям и эффект взаимодействия переменных.

2. Распределение массы агломерата по порциям, формирующимся в процессе загрузки шихты в колошниковое пространство печи, зависит от последовательности расположения ее компонентов в бункере БЗУ и содержания окатышей. Максимальную долю влияния, равную 0,27, наблюдали при содержании окатышей от железорудной части шихты 50 % и расположении их в нижней части бункера БЗУ.

3. Для окатышей в условиях размещения их в нижней части бункера БЗУ весомое значение имеет взаимодействие факторных признаков. Максимальные доли взаимодействий, равные 0,66; 0,45 и 0,30, наблюдали в опытах, когда содержание окатышей от железорудной части шихты составляло 10, 30 и 50 % соответственно.

4. Суммарная доля возмущений в общей дисперсии от факторов распределения массы и крупности материала шихты, включая эффект их взаимодействия, составляет 86–98 % для агломерата и 92–98 % для окатышей.

5. Минимальная сумма квадратов отклонений SS_y отвечает минимальной неравномерности распределения шихтовых материалов и достигается при режимах загрузки с расположением окатышей в слое агломерата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тонких, Д. А. Совершенствование режимов загрузки и дутья на доменных печах ПАО МК «Азовсталь» [Текст] / Д. А. Тонких, С. А. Кариков, А. К. Тараканов [и др.] // *Металлург*. — 2013. — № 9. — С. 42–48.
2. Большаков, В. И. Распределение дутья по окружности доменной печи объемом 5000 м³ при ее работе и выдувке [Текст] / В. И. Большаков, С. Т. Шулико, В. В. Лебедь [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2005. — № 2. — С. 10–13.
3. Сибатуллин, С. К. Выявление рациональной последовательности набора компонентов сырья в бункер БЗУ лоткового типа физическим моделированием [Текст] / С. К. Сибатуллин, А. С. Харченко // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. — 2015. — № 3. — С. 28–34.
4. Харченко, А. С. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи [Текст] / А. С. Харченко, Е. О. Теплых, В. Л. Терентьев [и др.] // *Теория и технология металлургического производства*. — 2010. — № 1. — С. 26–30.
5. Андронов, В. Н. Оценка эффективности распределения дутья и природного газа по фурмам [Текст] / В. Н. Андронов, Ю. А. Белов // *Сталь*. — 2002. — № 9. — С. 15–17.
6. Листопадов, В. С. Исследование влияния распределения потока на ровность схода материалов по окружности доменной печи [Текст] / В. С. Листопадов, К. А. Дмитриенко, А. А. Параносенков [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2008. — № 6. — С. 11–15.
7. Сибатуллин, С. К. Стабилизация соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам доменной печи [Текст] / С. К. Сибатуллин, А. С. Харченко, А. А. Полинов [и др.] // *Теория и технология металлургического производства*. — 2014. — № 1 (14). — С. 23–25.
8. Товаровский, И. Г. Прогнозная оценка влияния шихтовых материалов по радиусу колошника на процессы и показатели доменной плавки [Текст] / И. Г. Товаровский // *Металлург*. — 2014. — № 8. — С. 46–52.
9. Buchwalder, J. Contemporary blast furnace top charging practices [Text] / J. Buchwalder, V. A. Dobroskok, E. Lonardi [et al.] // *Stahl und Eisen*. — 2008. — № 4. — S. 47–54.
10. Zhao, Yongfu. Development of burden distribution technology at U.S. Steel Canada's. Hamilton Works 'E' blast furnace [Text] / Zhao Yongfu, Jerry C. Capo, Steven J. McKnight [et al.] // *Iron & Steel Technology*. — 2011. — № 1. — P. 52–61.
11. Hattori, M. Development of Burden Distribution Simulation Model for Bell-less Top in a Large Blast Furnace and Its Application [Text] / M. Hattori, B. Iino, A. Shimomura [et al.] // *ISIJ International*. — 1993. — V. 33. (1993). — № 10. — P. 1070–1077.
12. Jiménez, Juan. Mathematical Model of Gas Flow Distribution in a Scale Model of a Blast Furnace Shaft [Text] / Juan Jiménez, Javier Mochón, Jesús Sainz de Ayala // *Ibid.* — 2004. — V. 44. — № 3. — P. 518–526.
13. Tonkikh, D. A. Improving the Charging and Blast Regimes on Blast Furnaces at the Azovstal Metallurgical Combine [Text] / D. A. Tonkikh, S. A. Karikov, A. K. Tarakanov [et al.] // *Metallurgist*. — 2014. — V. 57. — Is. 9–10. — P. 797–803.
14. Харченко, А. С. Влияние различных факторов на равномерность распределения коксового орешка в колошниковом пространстве доменной печи, оснащенной БЗУ лоткового типа [Текст] / А. С. Харченко, С. К. Сибатуллин, Д. Н. Гущенко, Е. О. Теплых // *Теория и технология металлургического производства*. — 2010. — № 1. — С. 33–38.

15. Huatao, Z. Uneven distribution of burden materials at blast furnace top with parallel bunkers [Text] / Z. Huatao, Z. Minghua, D. Ping // ISIJ International. — 2012. — V. 52. — № 12. — P. 2177–2185.
16. Nakano, Kaoru. Advanced Supporting System for Burden Distribution Control at Blast Furnace Top [Text] / Kaoru Nakano, Kohei Sunahara, Takanobu Inada // Ibid. — 2010. — V. 50. — № 7. — P. 994–999.
17. Teng, Zhao-jie. Mathematical model of burden distribution for the bell-less top of a blast furnace [Text] / Zhao-jie Teng, Shu-sen Cheng, Peng-yu Du, Xi-bin Guo // International Journal of Minerals Metallurgy, and Materials. — 2013. — V. 20. — Is. 7. — P. 620–626.
18. Сибгатуллин, С. К. Влияние последовательности загрузки компонентов шихты в бункер БЗУ на равномерность их поступления в колошниковое пространство доменной печи [Текст] / С. К. Сибгатуллин, Е. О. Теплых, А. С. Харченко // Теория и технология металлургического производства. — 2011. — № 11. — С. 12–16.
19. Sibgatullin, S. K. The rational mode of nut coke charging into the blast furnace by compact trough-type charging device [Text] / S. K. Sibgatullin, A. S. Kharchenko, G. N. Logachev // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2016. — V. 86. — Is. 1–4. — С. 531–537.
20. Семенов, Ю. С. Выбор рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, для условий работы с малой массой подачи и с нестабильным качеством шихтовых материалов [Текст] / Ю. С. Семенов // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2013. — № 12. — С. 14–19.
21. Сибгатуллин, С. К. Прочностные характеристики коксового орешка различного происхождения [Текст] / С. К. Сибгатуллин, А. С. Харченко, Е. О. Теплых [и др.] // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. — 2012. — № 1. — С. 19–21.
22. Сибгатуллин, С. К. Качество шихтовых материалов доменной плавки, включающих титаномагнетиты и сидериты [Текст] / С. К. Сибгатуллин, А. С. Харченко. — Магнитогорск, 2012.
23. Девятченко, Л. Д. Модели фиксированных эффектов. Введение в дисперсионный анализ [Текст] / Л. Д. Девятченко. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. — 127 с.
24. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики [Текст] / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — М.: Наука, 1983. — 416 с.

УДК 669.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОВОЗГОРАНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА

*А. С. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук, dakatuli@bk.ru; Т. В. НИКИТЧЕНКО, канд. техн. наук;
В. В. ФЕДИНА, канд. техн. наук; Л. Н. КОРОТКОВА
(Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технический университет “МИСЦ”)*

Производство горячебрикетированного железа (ГБЖ) — одно из самых перспективных направлений развития мировой металлургии. ГБЖ — это продукт прямого восстановления железа, спрессованный при температуре 680–700 °С под высоким давлением. ГБЖ является высококачественным сырьем для металлургических предприятий как добавка к металлолом.

ГБЖ представляет собой более плотную форму прямовосстановленного железа. Это позволяет закрыть внутренние поры, увеличить плотность и улучшить теплопроводность, тем самым снижается уровень взаимодействия металлического железа с кислородом, замедляются процессы вторичного окисления и исключается риск воспламенения прямовосстановленного железа, возникающий при протекании реакции окисления железа [1].

Во время транспортировки брикетов ГБЖ вследствие перегрузок и перевалок может происходить их частичное разрушение с образова-

нием более мелкого продукта. Образующийся мелкий продукт может спровоцировать увеличение скорости реакций окисления железа, что, соответственно, приведет к росту выделяющегося тепла. При определенных условиях может создаться ситуация самовозгорания металлизированного продукта [2].

Цель исследования заключалась в определении температуры разогрева металлизированного продукта, при которой может развиваться процесс самопроизвольного роста температуры материала, которая называется температурой самовозгорания.

В практике производства железа прямого восстановления в соответствии с кодексом ИМО продукцию прямого восстановления — металлизированную продукцию принято классифицировать по классам крупности:

– ГБЖ класса более 25 мм — как правило, это целые брикеты или их половинки;

– ГБЖ класса менее 25 мм и более 5 мм — это фрагменты брикетов ГБЖ, образующиеся в результате механических воздействий на брикеты при транспортировке;

– металлизированная мелочь.

Металлизированная мелочь — это побочный продукт процесса прямого восстановления железа, образующийся в процессе деления брикетов ГБЖ или в процессе выгрузки металлизированных окатышей, имеющий крупность менее 5 мм.

В результате разрушения брикета ГБЖ в месте излома атомы металлического железа оказываются в непосредственном контакте с кислородом воздуха, что активизирует процессы вторичного окисления. Таким образом, разрушение брикетов влияет на скорость процесса окисления металлического железа. И чем мельче размер частей, на которые разрушается металлизированный продукт, тем выше скорость окисления в них железа. Поэтому процесс повышения прочности брикетов будет способствовать сохранению их металлургической ценности по содержанию железа [3].

Такие факторы, как повышенная влажность и высокая температура окружающей среды металлизированного продукта, являются факторами, увеличивающими скорость окисления.

В данной работе проводилось исследование по определению температуры возможного самовозгорания металлизированной продукции различного класса крупности.

Температурой самовозгорания называют температуру, при которой разогрев материала возникает без внешнего источника пламени. Для всех форм железа, полученного методом прямого восстановления, температура самовозгорания разная. Ее изучают путем термостатирования исследуемого материала при заданной температуре и установления зависимости между температурой, при которой возникает возгорание, и другими факторами, влияющими на скорость вторичного окисления.

Для выполнения исследований была собрана установка, схема которой представлена на рис. 1. Она состоит из:

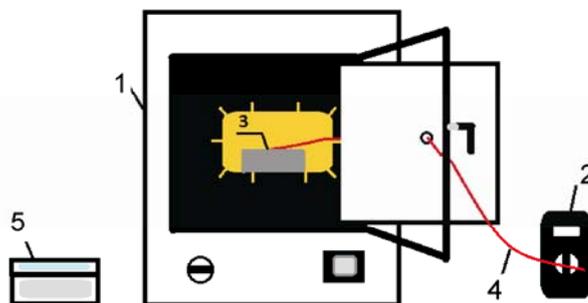
– печи СНОЛ с терморегулятором, позволяющим поддерживать постоянную температуру в пределах от 30 до 400 °С;

– емкости круглой формы размером 18×7 см, материалом для емкости служит нержавеющая сталь;

– термоэлектрического преобразователя типа ТХК;

– мультиметра М890G (диапазон измерения от 0 до 1000 °С);

– весов лабораторных с наибольшим пределом взвешивания 6000 г и точностью взвешивания 0,01 г.



1 — печь; 2 — вторичный прибор измерения температуры; 3 — емкость для размещения металлизированного продукта; 4 — термопара, измеряющая температуру металлизированного продукта; 5 — весы

В момент, когда температура металлизированного продукта будет выше температуры в печи, наступает самовозгорание металлизированного продукта. Если продукт склонен к вторичному окислению, то может произойти его самовозгорание, при этом температура в центре емкости начнет резко возрастать. Если в продукте после непродолжительного саморазогрева (от 30 до 60 мин) температура в центре начнет медленно приближаться к температуре термостата, такой металлизированный продукт считают пригодным для транспортировки.

Эксперимент проводился следующим образом: к емкости прикреплялся термоэлектрический преобразователь таким образом, чтобы конец термопары находился внутри емкости, в ее центре. Емкость заполнялась металлизированным продуктом, взвешивалась. При испытании ГБЖ класса менее 25 мм и металлизированной мелочи бралась навеска массой 500 г, что соответствовало среднему весу одного брикета, для исключения фактора массы реагирующего вещества. В брикете до его центра предварительно высверливалось отверстие диам. 8 мм для термопары. Следует подчеркнуть, что в ГБЖ класса менее 25 мм и более 5 мм отсутствовали несжатые окатыши, которые могут выкрашиваться из брикета при его разрушении.

Емкость с металлизированным продуктом помещалась в центр рабочего пространства печи при комнатной температуре. Далее производился разогрев печи. При этом измеряли температуру в печи и температуру материала. Температуру измеряли каждые 20 мин. Продолжительность разогрева составляла от 2 до 8 ч. Разогрев печи осуществлялся до тех пор, пока не начинался процесс самовозгорания металлизиро-

ванного продукта. О начале самовозгорания судили по разнице температур в печи и самого материала. Если температура материала начинала превышать температуру в печи — это точка начала развития процесса самовозгорания. Результаты испытаний представлены на рис. 2–4.

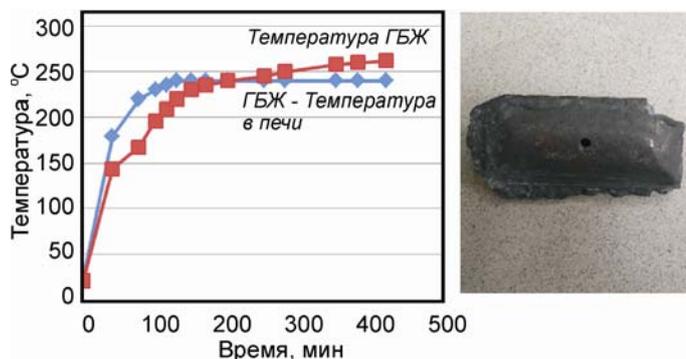


Рис. 2. Температура самовозгорания брикета ГБЖ

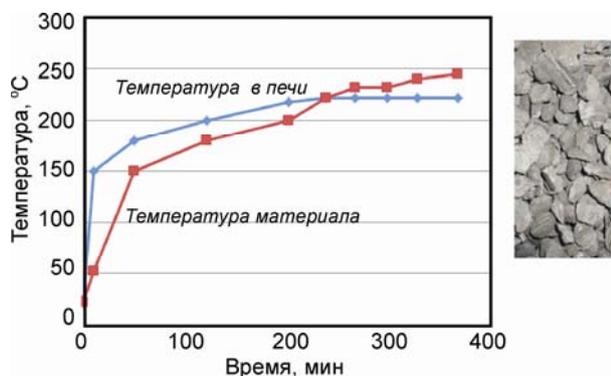


Рис. 3. Температура самовозгорания ГБЖ класса -25+5 мм

Температура самовозгорания брикета ГБЖ по графику (см. рис. 2) — это точка пересечения внешней (в печи) и внутренней температуры (температуры продукта), она равна 240 °С.

Выводы

1. Представленная установка позволяет производить измерение температуры самовозгорания металлizedованного продукта различного класса крупности.
2. Прямовосстановленное железо, подвергшееся сжатию, т. е. снижению пористости, даже

Как правило, условия достижения температуры самовозгорания металлizedованного продукта определяются многими факторами: уровнем влажности, условиями теплоотвода, плотностью металлizedованного продукта, его внутренней структурой и т. д.

По результатам эксперимента установлено, что ГБЖ, находящееся в сухом состоянии, имеет достаточно высокий температурный порог самовозгорания (рис. 5).

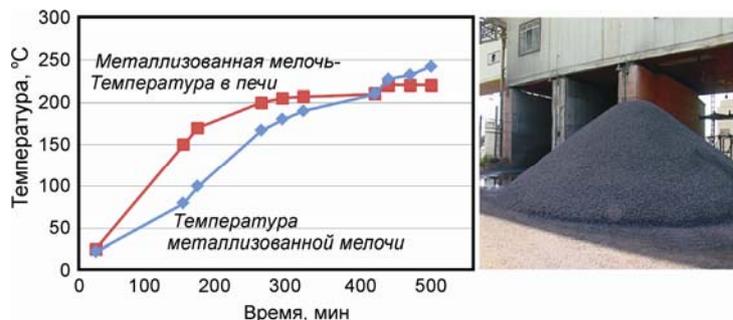


Рис. 4. Температура самовозгорания металлizedованной мелочи

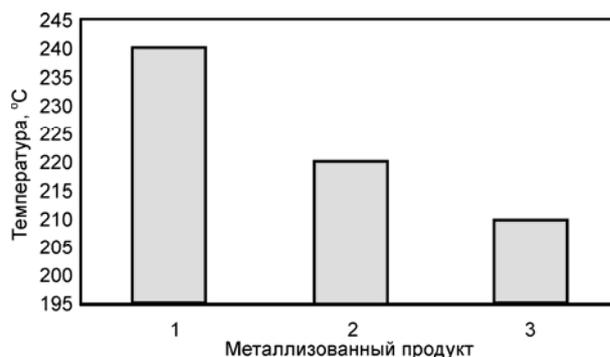


Рис. 5. Температура самовозгорания металлizedованного продукта:
1 — ГБЖ класса более 25 мм; 2 — ГБЖ класса менее 25 мм и более 5 мм; 3 — металлizedованная мелочь класса менее 5 мм

мелкого класса крупности имеет температурный порог самовозгорания выше 200 °С.

3. Температура самовозгорания будет изменяться при изменении плотности, степени сжатия материала, его крупности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юсфин, Ю. С. *Металлургия железа* [Текст] / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. — 464 с.
2. Тимофеева, А. С. Уменьшение пылевыведения при транспортировке металлizedованного сырья [Текст] / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, Л. Н. Крахт // *Известия Южного федерального университета. Технические науки.* — 2004. — Т. 40. — № 5. — С. 126–130.
3. Никитченко, Т. В. Исследование и разработка технологии производства горячебрикетированного железа из концентратов КМА на промышленной установке металлizationи НУЛ-III [Текст] / Т. В. Никитченко: дисс. ... канд. техн. наук. — Липецк, 2007. — 167 с.

КАРТИНА ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ

*А. Г. ЧЕРНЯТЕВИЧ¹, д-р техн. наук, проф., agchern@ua.fm; Е. Н. СИГАРЕВ², д-р техн. наук, проф.;
Л. С. МОЛЧАНОВ¹, канд. техн. наук; В. В. ВАКУЛЬЧУК¹,
П. О. ЮШКЕВИЧ¹, К. И. ЧУБИН², канд. техн. наук; М. К. ЧУБИН²*
(¹ Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина;
² Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина)

Актуальность и постановка задачи исследования

К настоящему времени в установлении путем высокотемпературного моделирования картины физико-химических процессов, сопровождающих взаимодействие верхних кислородных струй с конвертерной ванной, достигнут определенный успех [1–3]. Выявлены основные физико-химические закономерности поведения реакционной зоны воздействия кислородных струй на конвертерную ванну в ходе верхней продувки с использованием многосопловых фурм [1–3], в том числе двухконтурных [3], параметры изменения формы и размеров образуемых кратеров, а также особенности брызгообразования и выхода на поверхность ванны газообразных продуктов окисления углерода.

Вместе с тем полностью отсутствует информация о реальных физико-химических явлениях, сопровождающих верхнюю продувку конвертерной ванны группами сверх- и дозвуковых кислородных струй, формируемых соплами Лавала и цилиндрическими соплами двухъярусной фурмы, что не позволяет осознанно подойти к разработке оптимальных конструкций многоярусных фурменных устройств и способов продувки, обеспечивающих:

- улучшение теплового баланса конвертерной плавки за счет дожигания СО до СО₂ в полости конвертера с предотвращением повышенного локального износа футеровки верхней цилиндрической и конусной частей конвертера;

- снижение интенсивности заметалливания технологического оборудования (ствола фурмы, горловины конвертера и экранной поверхности камина).

На сегодняшний день известно [4–6], что предотвратить интенсивное заметалливание ствола фурмы и горловины конвертера удается при использовании двухъярусных фурм, обеспечивающих создание над реакционной зоной взаимодействия основных сверхзвуковых кислородных струй с конвертерной ванной своеобразной

газовой завесы из дополнительного дозвукового кислородного дутья, преграждающего попадание на ствол фурмы и горловину конвертера капель металла, выносимых в потоке отходящих газов. Для создания такой газовой завесы рекомендуется [5] расход кислорода через верхний ярус сопел поддерживать в пределах 3–5 % от общей интенсивности продувки, чтобы одновременно со снижением интенсивности заметалливания технологического оборудования предотвратить агрессивное воздействие высокотемпературного факела дожигания на футеровку конвертера. В зарубежной металлургической практике [4–6] благодаря организации при продувке конвертерной ванны через двухъярусные фурмы дожигания СО до СО₂ в верхней части агрегата без воздействия факела дожигания на футеровку и нанесению шлакового гарнисажа на поверхность последней удалось значительно уменьшить образование металлошлаковых настывей на стволе фурмы и горловине конвертеров с достижением стойкости футеровки в пределах 20–43 тыс. плавков [4, 6].

Отмеченный выше подход в реализации продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму в практике работы конвертерных цехов [7, 8] в бывшем СССР опробован не был, поскольку с самого начала преследовалась цель улучшения теплового баланса плавки посредством интенсификации дожигания СО до СО₂ при расходе дополнительного кислорода в пределах 10–25 % от общего и повышения тем самым доли перерабатываемого металлического лома, что и было достигнуто. Однако в результате интенсификации дожигания отходящих газов с формированием высокотемпературных факелов, повышения температуры и окисленности шлаковой фазы развивался ускоренный износ футеровки конвертера, что вынуждало заменять двухъярусную фурму на обычную по ходу кампании плавков

как с верхней [7], так и с комбинированной продувкой [8].

С учетом вышеизложенного представлялось актуальным с использованием высокотемпературного моделирования при различных параметрах продувки конвертерной ванны кислородом через двухъярусную фурму получить недостающую достоверную информацию об особенностях:

- формирования реакционной зоны взаимодействия сверхзвуковых кислородных струй с металлическим расплавом с выходом из пределов последней запыленного потока монооксида

углерода при различном уровне расположения фурмы относительно вспененной шлакометаллической эмульсии;

- развития дожигания выделяющегося из пределов реакционной зоны CO до CO₂ в дозвуковых кислородных струях с формированием высокотемпературных факелов, направленных на поверхность конвертерной ванны или внедренных в объем вспененного шлака;

- образования металлошлаковых настывлей на стволе фурмы при продувке с различным уровнем вспененной шлакометаллической эмульсии.

Установка и методика проведения исследований

Исследования проводили на смонтированной с учетом приобретенного опыта [9] установке, включающей 60-кг конвертер (рис. 1), снабженный съемной горловиной с окном для фиксации хода продувки видеокамерой со скоростью 300 кадров/с.

производится через металлошланговый рукав, соединенный с дымососом.

Для продувки конвертерной ванны были использованы два варианта конструкций двухъярусных кислородных фурм (см. рис. 1), спроектированных с учетом [10] создания группой сверхзвуковых кислородных струй, истекающих из сопел Лавалья наконечника фурмы, обособленных или объединенной реакционных зон интенсивного выхода потока CO на поверхность ванны. Соответственно, это обеспечивалось размещением в нижнем медном наконечнике четырех сопел Лавалья (критического диаметра 1,7 мм и выходного — 2,5 мм) под углом 15 град. к вертикали в первом варианте конструкции фурмы (1') и 12 град. — во втором (2'). Для дожигания монооксида углерода дозвуковыми кислородными струями на удалении 105 мм от торца наконечника размещен верхний медный сопловый блок, имеющий восемь цилиндрических сопел диам. 1 мм, расположенных под наклоном 45 град. к вертикали в первом варианте конструкции фурмы (1') и 30 град. — во втором (2').

В ходе экспериментов независимо регулируемый расход основного ($Q_{O_2}^{OCH}$) и дополнительного

($Q_{O_2}^{доп}$) кислорода изменялся в пределах 0,12–0,20 и 0,011–0,108 м³/мин, или 2,0–3,3 и 0,18–1,8 м³/(т·мин), соответственно через группы сопел Лавалья и цилиндрических. В данном случае интенсивность подачи кислорода на дожигание отходящих газов составляла 5,2–35,0 % от общей на продувку конвертерной ванны. Высоту фурмы над уровнем ванны в спокойном состоянии изменяли в пределах 20–50 калибров (диаметров критического сечения сопла Лавалья).

Жидкий низкомарганцовистый чугун, имеющий химический состав: 4,05–4,50 % C, 0,49–0,90 % Si, 0,03–0,15 % Mn, 0,022–0,050 % S и 0,048–0,058 % P и температуру 1600–1650 °C, выплавляли в кислом тигле 160-кг индукционной печи с учетом теплотерь за время заливки чугуна в конвертер и подготовительных работ (установка

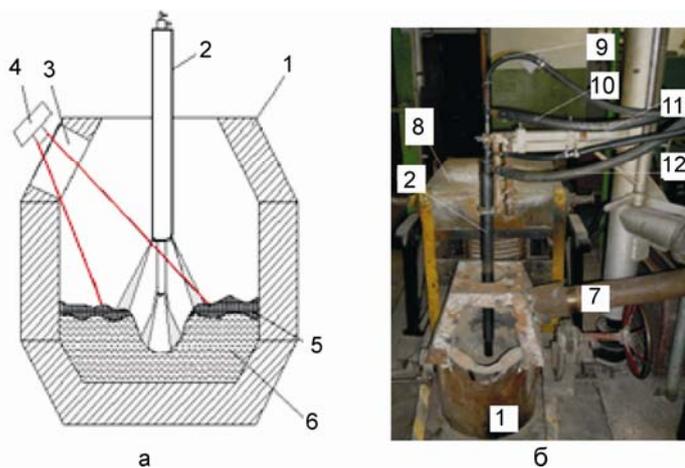


Рис. 1. Схема реализации видеосъемки процесса продувки (а) и вид лабораторного конвертера (б):

1 — конвертер; 2 — фурма; 3 — смотровое окно; 4 — видеокамера; 5 — шлак; 6 — металл; 7 — рукав отвода дымовых газов; 8 — 160-кг индукционная печь; 9, 11 — патрубки подвода основного и дополнительного кислорода; 10, 12 — патрубки подвода и отвода охлаждающей воды

Футеровка конвертера выполнена путем набивки по шаблонам из обожженного магнезитового порошка со связкой на жидком стекле. Уменьшение теплотерь достигается применением слоя каолиновой ваты и листового асбеста, уложенных между кожухом и футеровкой конвертера.

Обжиг и разогрев футеровки конвертера перед плавкой осуществляются путем сжигания загруженного в конвертер кокса с вдуванием в объем последнего компрессорного воздуха. Отвод образующихся дымовых газов в ходе разогрева футеровки и продувки конвертерной ванны

горловины, отбор пробы и замер температуры чугуна, замер глубины ванны, фиксация двухъярусной фурмы на заданной высоте) перед началом продувки.

Порядок продувки чугуна кислородом через двухъярусную фурму с вводом кусковых (фракция 10–12 мм) извести и плавикового шпата в ходе операции изменяли по заранее составленной программе. В ходе продувки производился

отбор проб металла и шлака. После падения факела над горловиной конвертера ($[C] \leq 0,08 \%$) поднимали фурму с одновременным прекращением подачи кислорода. В отработанном варианте дутьевого и шлакового режимов ведения плавки температура расплава возрастала в ходе продувки с первоначальных 1300–1340 до 1610–1630 °С по окончании операции.

Обсуждение результатов исследования

С практической точки зрения представляют интерес только проявляющиеся на поверхности продуваемой кислородом конвертерной ванны физико-химические явления с момента “зажигания” операции, когда начинает реализовываться непосредственно классический кислородно-конвертерный процесс рафинирования жидкого чугуна с добавкой в качестве охладителя металлического лома.

В этой связи обработка снятых видеоматериалов хода продувки плавки через двухъярусную фурму была направлена в первую очередь на получение достоверной информации об особенностях развития физико-химических процессов на поверхности конвертерной ванны после устойчивого “зажигания” операции в начальный период окисления шлакообразующих примесей и наводки шлака, в основной период интенсивного обезуглероживания ванны и заключительный период продувки с падением скорости обезуглероживания.

С началом продувки ванны 60-кг конвертера с расходом основного кислорода 0,12–0,20 м³/мин че-

рез обе конструкции двухъярусной фурмы устойчивое “зажигание” плавки происходило при расположении торца наконечника на начальной высоте $H_{\Phi}^{нач}$ 45–50 калибров и давлении ($P_d = iF_x$) отдельной сверхзвуковой струи на поверхность металлического расплава в пределах 1500–2055 Па. Здесь i — импульс кислородной струи, кг·м/с²; F_x — площадь струи на уровне встречи с ванной, м², в соответствии с полученными выражениями [11].

Первоначально фиксируется выделение из кратеров реакционной зоны чрезмерно запыленных объемов отходящих газов черно-бурого цвета, препятствующих визуализации и дальнейшей видеосъемке процесса продувки. Затем благодаря интенсификации обезуглероживания в реакционной зоне с частичным дожиганием в пределах последней CO до CO₂ происходит устойчивое “зажигание” плавки, после чего реакционная зона как бы раскрывается для видеосъемки дальнейшего хода продувки (рис. 2, а–в).

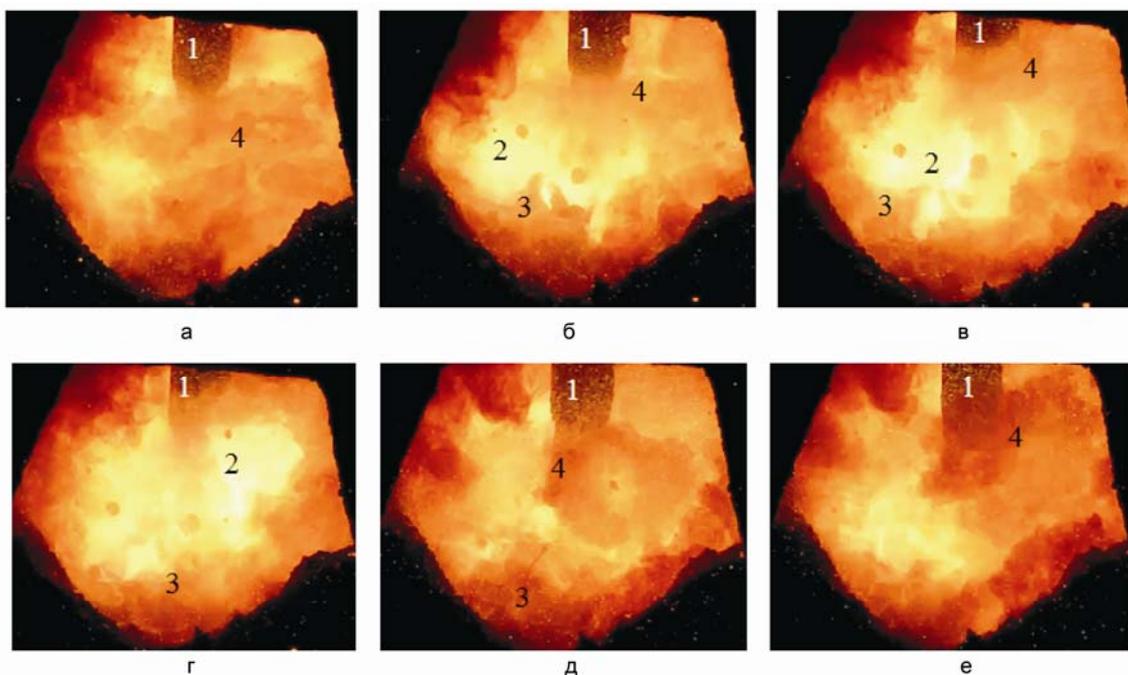


Рис. 2. Картина продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму (1*) с момента устойчивого “зажигания” плавки

($H_{\Phi}^{нач} = 50$ калибров, $Q_{O_2}^{осн} = 0,20$ м³/мин, $Q_{O_2}^{доп} = 0,10$ м³/мин):

1 — фурма; 2 — факелы дожигания; 3 — выход бурого дыма

Из-за низкой скорости окисления углерода на начальном этапе продувки дожигание СО дозвучиваемыми кислородными струями, истекающими из цилиндрических сопел верхнего яруса фурмы, развивается слабо (см. рис. 2, а-в). Характерно, что первоначально с определенной частотой в пределах реакционной зоны фиксируется выход и дожигание незапыленного потока СО (см. рис. 2, а-в) с последующим выделением из этого места бурого дыма (см. рис. 2, г-е).

Зафиксированная видеосъемкой максимальная высота подъема крупных всплесков и брызг металла, направленных в сторону фурмы и стен конвертера, остается меньше высоты 45–50 калибров расположения двухъярусной фурмы над уровнем расплава, что предотвращает образование металлических настывей на стволе фурмы при наводке шлака.

В это время продукты преимущественного окисления кремния и марганца в виде железомарганцовистых силикатов и неиспользованной части оксидов железа всплывают на поверхность ванны, оттесняются потоком выходящего из реакционной зоны монооксида углерода в сторону стен конвертера и вступают во взаимодействие с присадками кусковой извести и плавикового шпата. В результате добавок указанных материалов и дальнейшего поступления в шлак продуктов окисления шлакообразующих примесей и железа чугуна количество шлака увеличивается. При этом усиливающийся поток всплесков, круп-

ных и мелких брызг металла из пределов реакционной зоны в шлак с повышенным содержанием оксидов железа сопровождается обезуглероживанием металлических корольков (к) по реакции $[C]_k + (FeO) \rightarrow \{CO\} + [Fe]_k$, что ведет к накоплению мелких пузырьков СО в шлаке и формированию вспененной шлакометаллической эмульсии.

С установлением двухъярусной фурмы (1') на рабочей высоте $H_{\Phi}^{раб}$ 30 калибров и при расходе основного кислорода 0,12–0,20 м³/мин через четыре сопла Лавала обеспечивалась с началом интенсивного окисления углерода продувка в режиме глубокого проникновения сверхзвуковых кислородных струй в расплав ($P_{д} = 2875–3600$ Па) с формированием в глубине последнего обособленных реакционных зон. Из пределов этих реакционных зон в случае расположения уровня вспененной шлакометаллической эмульсии вблизи торца наконечника фурмы происходит периодический выход на поверхность ванны объемов СО в виде макропузырей с изменением места выхода относительно ствола фурмы без определенной закономерности. В этом случае в формировании факелов дожигания СО до СО₂ принимают участие только струи дополнительного кислорода, расположенные на стороне выхода макропузыря, остальные же струи внедряются во вспененный шлак и взаимодействуют с последним (рис. 3).

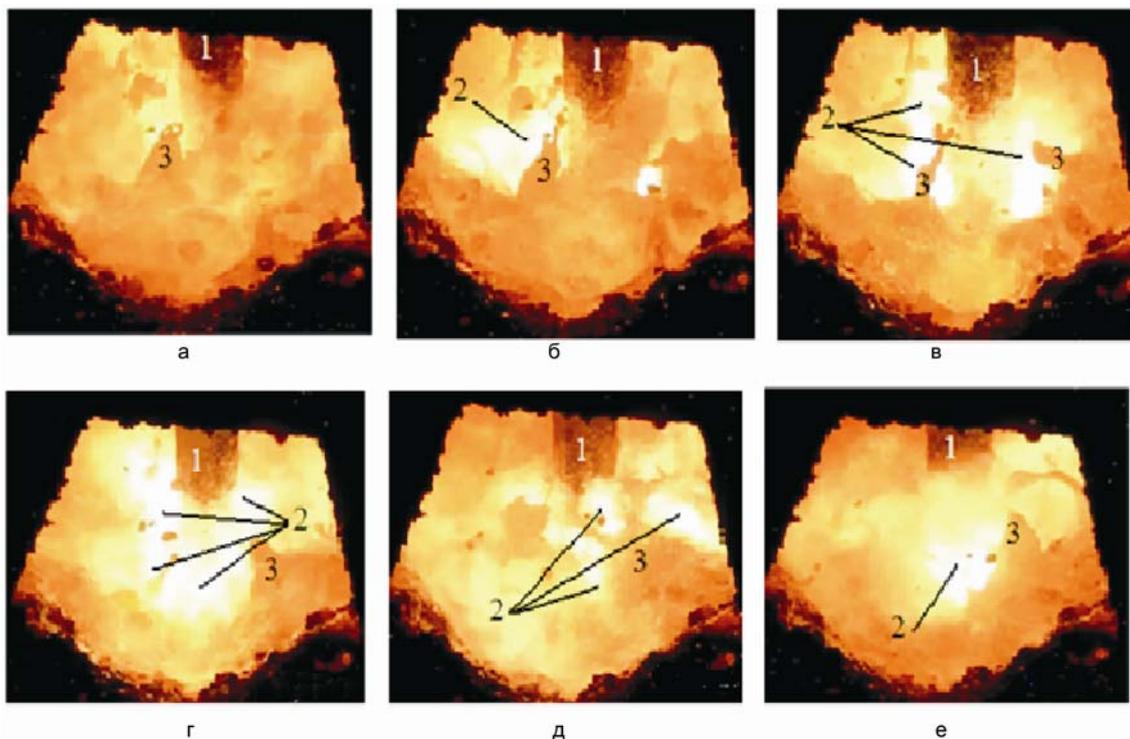


Рис. 3. Картина продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму (1') в период интенсивного окисления углерода

($H_{\Phi}^{нач} = 30$ калибров; $Q_{O_2}^{осн} = 0,20$ м³/мин; $Q_{O_2}^{доп} = 0,10$ м³/мин):

1 — фурма; 2 — факелы дожигания; 3 — всплески шлака

С повышением скорости обезуглероживания, а соответственно с увеличением объема выделяемого из пределов реакционной зоны монооксида углерода, возрастает по диаметру область выхода на поверхность ванны СО. Это способствует при расходе дополнительного кислорода 0,084–0,108 м³/мин интенсивному развитию дожигаания вовлеченного в дозвуковые струи СО до СО₂ с формированием высокотемпературных факелов, воздействующих на поверхность ванны за пределами зон непосредственного взаимодействия сверхзвуковых кислородных струй с расплавом (см. рис. 3).

При уровне вспененной шлакометаллической эмульсии, располагающейся вблизи или над верхним ярусом цилиндрических сопел (рис. 4), продувка обычно протекает в режиме, когда с определенной частотой из пределов реакционной зоны выходит цепочка всплывающих вдоль ствола фурмы макропузырей СО, которые в процессе всплывания и укрупнения вызывают первоначальное увеличение высоты слоя вспененного шлака и последующее снижение после выхода и разрушения очередного макропузыря на поверхности ванны в околофурменной зоне.

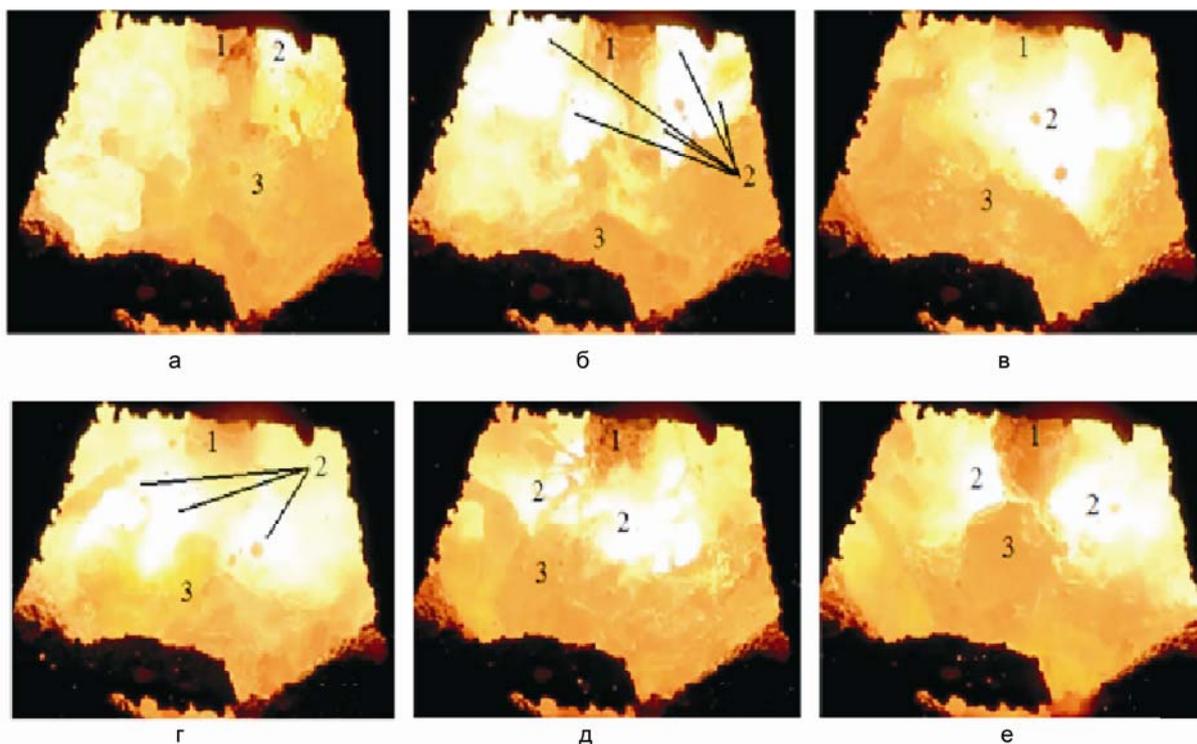


Рис. 4. Картина продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму (2') с расположением вспененного шлака на уровне верхних цилиндрических сопел ($H_{\Phi}^{нач} = 30$ калибров; $Q_{O_2}^{осн} = 0,20$ м³/мин; $Q_{O_2}^{доп} = 0,10$ м³/мин):
1 — фурма; 2 — факелы дожигаания; 3 — всплески шлака

Выход и разрушение на поверхности ванны макропузырей СО сопровождается образованием шлаковых всплесков, верхняя часть которых разрушается на отдельные капли, а оставшаяся часть оседает в шлаковую ванну. При этом осуществляется как дожигаание СО до СО₂ в объеме макропузыря кислородными струями верхнего яруса сопел, так и взаимодействие последних с прослойками шлакометаллической эмульсии.

Если при расположении уровня вспененной шлакометаллической эмульсии ниже торца наконечника фурмы, зафиксированной на начальной высоте (см. рис. 2), в основном происходит объединение выходящих из отдельных реакционных зон потоков монооксида углерода, то с

момента перекрытия вспененным шлаком торца наконечника выход макропузырей СО, формируемых в каждой из реакционных зон, на поверхность ванны происходит прерывисто (см. рис. 3 и 4). При этом вспененный слой шлакометаллической эмульсии, перекрывающий реакционную зону взаимодействия кислородных струй с металлическим расплавом, препятствует выносу капель металла на ствол фурмы, удерживая их тем сильнее, чем значительнее толщина слоя шлака и выше окисленность последнего.

Пока обезуглероживание ванны протекает в основном в пределах реакционной зоны, что характерно до "переходных" значений (0,9–1,2 %) концентрации углерода в расплаве [12], запыленность отходящих газов определяется высо-

той образующегося слоя вспененной шлакометаллической эмульсии, выполняющей роль своеобразного фильтра, улавливающего пыль.

С понижением концентрации углерода ниже “переходных” значений подвод кислорода превышает подвод углерода на обезуглероживание в реакционной зоне. Окисление углерода в реакционной зоне с выделением из нее запыленного потока монооксида углерода постепенно ослабевает и начинает интенсифицироваться процесс обезуглероживания в объеме металлической ванны на всплывающих пузырях СО и в местах их зарождения на футеровке конвертера за счет

кислорода, поступающего из зоны продувки. В заключительный период продувки (рис. 5) после падения факела над горловиной конвертера с понижением содержания углерода в ванне ниже 0,08–0,15 % скорость обезуглероживания уменьшается пропорционально снижению концентрации углерода в расплаве до 0,03–0,04 %, избыток кислорода в виде оксидов железа поступает в шлак, что вызывает потери выхода жидкого железоуглеродистого полупродукта, увеличивает скорость износа футеровки конвертера, но одновременно интенсифицирует процесс дефосфорации.

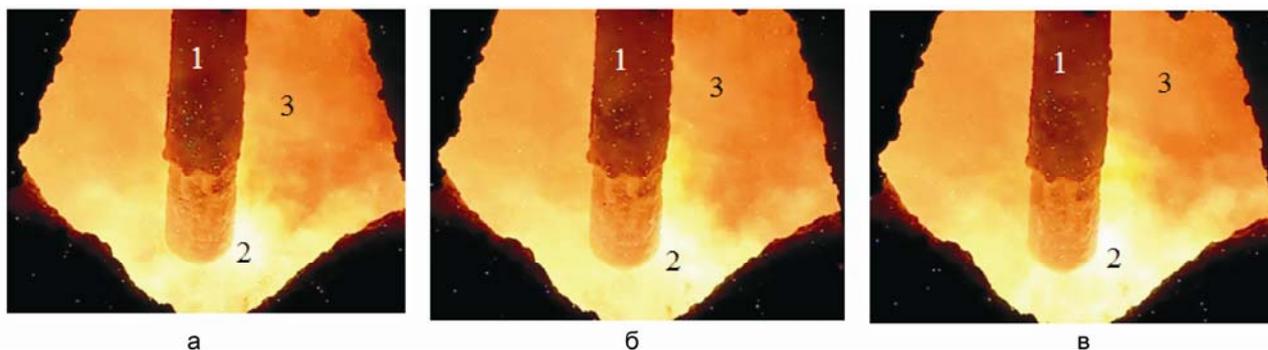


Рис. 5. Картина заключительного периода продувки конвертерной ванны через двухъярусную фурму
 $(H_{\phi}^{нач} = 30$ калибров; $Q_{O_2}^{осн} = 0,20$ м³/мин, $Q_{O_2}^{доп} = 0,10$ м³/мин):
 1 — фурма (1'); 2 — факелы дожигания; 3 — выход бурого дыма

Как известно, для ускорения удаления фосфора при высоком содержании углерода в конвертерной ванне, а также предотвращения образования металшлаковой настыви на стволе обычной кислородной фурмы необходимо добиваться возможно более раннего вспенивания шлака и возможно большей продолжительности продувки с наличием вспененной шлакометаллической эмульсии, приближающейся к горловине конвертера, не допуская при этом возникновения выбросов.

При таких условиях продувки в экспериментах на обеих конструкциях двухъярусных фурм после извлечения из конвертера наблюдались преимущественно шлаковые настыви протяженностью 230–250 мм от торца наконечника (рис. 6, а), которые в процессе охлаждения самопроизвольно удалялись в результате растрескивания. В то же время при малошлаковой продувке в режиме “жесткого” воздействия сверхзвуковых кислородных струй на ванну ($P_{д} = 0,014–0,015$ МПа, $H_{\phi}^{раб} = 20$ калибров) предотвратить вынос мелких капель металла и шлака на ствол фурмы и избежать образования настывей на обеих фурмах не удалось (см. рис. 6, б, в).

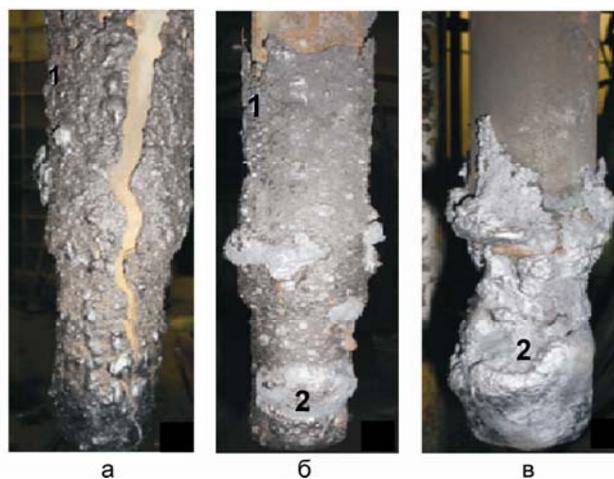


Рис. 6. Вид настывей на стволах двухъярусных фурм
 (1', а; 2', б) и (2', в):
 1 — шлаковая настывь; 2 — металлическая настывь

Видеосъемкой фиксировался как постоянно повторяющийся с определенной частотой выброс крупных всплесков и брызг металла на ствол фурмы с последующим их стеканием к наконечнику, так и направленный вынос мелких капель металла с намораживанием на наружную трубу фурмы над наконечником.

Обычно ниже верхнего яруса сопел на стволе фурмы, как и в производственных условиях [13], формировались в основном металлические настыли (см. рис. 6, в), удаление которых требовало значительных затрат времени для возврата фурмы в работу. Выходом из создавшегося положения может быть применение наконечника с

двухрядным круговым размещением сопел Лаваля и цилиндрических, что, по-видимому, позволит снизить интенсивность направленного брызгоуноса мелких капель металла и шлака на поверхность наружной трубы фурмы в условиях малошлаковой продувки.

Выводы

Повышению эффективности дожигания СО до СО₂ в полости конвертера с предотвращением локального износа футеровки и интенсивного заматывания ствола двухъярусной фурмы способствует продувка конвертерной ванны, обеспечивающая при внедрении в ванну сверхзвуковых кислородных струй, истекающих из сопел Лаваля наконечника, одновременное уско-

ренное формирование вспененной шлакометаллической эмульсии, располагающейся вблизи верхнего яруса цилиндрических сопел, и реакционной зоны с выходом из ее пределов вдоль ствола фурмы объединенного потока СО, в который встречно вдуваются дозвуковые кислородные струи с формированием факелов дожигания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернятевич, А. Г. Макрокартина физических явлений в реакционной зоне кислородного конвертера при продувке многосопловыми фурмами [Текст] / А. Г. Чернятевич, Е. Я. Зарвин, Ю. Н. Борисов [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 1977. — № 12. — С. 61–65.
2. Чернятевич, А. Г. Некоторые вопросы распространения кислородных струй в рабочем пространстве конвертера [Текст] / А. Г. Чернятевич, Б. И. Шишов // Там же. — 1981. — № 1. — С. 28–32; № 3. — С. 42–45.
3. Чернятевич, А. Г. Экспериментальное изучение параметров реакционной зоны в условиях комбинированной продувки [Текст] / А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов // Там же. — 1991. — № 6. — С. 17–22.
4. Ughadpada, K. Production improvement of No. 2 BOSP et ESAI [Text] / K. Ughadpada, S. Briglio, G. Mohammed // Iron and Steel Technology. — 2010. — № 11. — P. 59–64.
5. Rymarchyk, N. Post combustion lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) operations [Text] / N. Rymarchyk // Steelmaking Conference Proceedings. — 1998. — P. 445–449.
6. Stone, R. P. Further process improvements at Severstal Sparrows Point via new technology implementation / R. P. Stone, D. Neith, S. Koester [et al.] // AISTech 2009 Proceedings. — 2009. — № 1. — P. 737–747.
7. Баптизманский, В. И. Работа 130-т конвертеров, оборудованных двухъярусными фурмами [Текст] / В. И. Баптизманский, В. О. Куликов, А. Т. Китаев [и др.] // Экспресс-информация ЦНИИ и ТЭИ ЧМ. — 1974. — Сер. 6. — Вып. 3. — С. 1–14.
8. Шнееров, Я. А. Комбинированная продувка металла с подачей нейтрального газа через днище конвертера [Текст] / Я. А. Шнееров, С. З. Афонин, В. В. Смоктий [и др.] // Сталь. — 1985. — № 11. — С. 16–21.
9. Чернятевич, А. Г. К вопросу горячего моделирования кислородно-конвертерного процесса [Текст] / А. Г. Чернятевич, Е. Я. Зарвин // Изв. вузов: Черная металлургия. — 1978. — № 4. — С. 40–45.
10. Чернятевич, А. Г. Разработка наконечников двухконтурных фурм для кислородных конвертеров [Текст] / А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов // Там же. — 1995. — № 12. — С. 13–17.
11. Протопопов, Е. В. Исследование взаимодействия кислородных струй с отходящими конвертерными газами [Текст] / Е. В. Протопопов, А. Г. Чернятевич // Там же. — 1996. — № 10. — С. 5–9.
12. Шиш, Ю. И. Исследование динамики пылеобразования в кислородном конвертере [Текст] / Ю. И. Шиш, А. Г. Чернятевич, Ю. А. Коржавин [и др.] // Там же. — 1981. — № 4. — С. 45–48.
13. Чернятевич, А. Г. Разработка и совершенствование конструкции двухъярусной фурмы для 160-т конвертеров ПАО ЕМЗ [Текст] / А. Г. Чернятевич, А. Г. Коваленко, А. В. Сущенко [и др.] // Теория и практика металлургии. — 2014. — № 3–6. — С. 20–28.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ФОСФОРА ИЗ КАРБОНАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

*И. Д. РОЖИХИНА¹, д-р техн. наук; О. И. НОХРИНА^{1,2}, д-р техн. наук;
М. А. ГОЛОДОВА¹, канд. техн. наук, golodova_ma@mail.ru*

(¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

Черная металлургия и машиностроение являются основными потребителями марганцевых сплавов с пониженным содержанием углерода, в том числе среднеуглеродистого ферромарганца. Среднеуглеродистый ферромарганец также входит в состав обязательного компонента для покрытия сварочных электродов [1, 2].

Качество среднеуглеродистого ферромарганца оказывает значительное влияние на качество и надежность сварки. Особенно на эти показатели влияет фосфор. Фосфор является основной причиной, вызывающей сварочные трещины и понижающей свариваемость металла.

Увеличение концентрации фосфора происходит по причине его повышенного содержания в среднеуглеродистом ферромарганце, входящем в состав обмазки сварочных электродов, поэтому для производства среднеуглеродистого ферромарганца используются только высококачественные малофосфористые руды (обычно $P/Mn < 0,0031$). Сплав выплавляют силикотермическим способом. Для производства восстановителя — передельного силикомарганца используется специально выплавленный малофосфористый шлак [3–9].

В России нет марганцевых руд, пригодных для производства среднеуглеродистого ферромарганца по указанной трехстадийной схеме. Марганцевые руды подавляющего большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством: низкое содержание марганца (18–24 %) и высокое удельное содержание фосфора ($P/Mn > 0,006$). При этом около 90 % балансовых запасов приходится на карбонатное сырье.

При использовании карбонатных высокофосфористых марганцевых руд следует учитывать, что традиционной технологией углеродотермического восстановления из них можно получать только высокофосфористые сплавы, в том числе углеродистый ферромарганец с содержанием фосфора до 0,50–0,77 %, причем при хранении часть сплавов рассыпается. Такие сплавы не находят применения в сталеплавильном производстве.

Одним из способов понижения концентрации фосфора в марганцевых ферросплавах является плавка из карбонатных фосфористых руд, включающая дефосфорацию марганцевых сплавов [10–13].

Технология твердофазной дефосфорации ферромарганца позволяет предложить более простую и, возможно, более эффективную схему получения ферромарганца с пониженным содержанием углерода и фосфора, пригодного для производства сварочных электродов. При этом используются продукты самопроизвольного рассыпания углеродистого ферромарганца, выплавленного из карбонатных фосфористых руд. Однако явление рассыпания углеродистого ферромарганца изучено слабо [14]. Сведения о том, как изменяется состав сплава в ходе его рассыпания, а также о влиянии состава исходного металла на рассыпаемость, отсутствуют. Между тем имеются основания полагать, что на рассыпание марганцевых сплавов оказывает влияние как концентрация кремния, так и содержание железа, углерода и фосфора [15].

Целью данного исследования явилось изучение влияния различных факторов на процесс рассыпания сплавов, что позволит оптимизировать этот процесс и получить ферромарганец с пониженным содержанием фосфора и углерода из фосфористых карбонатных марганцевых руд, пригодный для производства сварочных электродов.

Явление рассыпаемости марганцевых сплавов изучали, контролируя состояние образцов различного состава при хранении их под слоем парафина, во влажной атмосфере эксикатора и на воздухе,

В качестве исходных материалов для изготовления образцов различных сплавов использовали: электролитический марганец (99,5 % Mn), кристаллический кремний (98 % Si), гранулированный алюминий (92 % Al), мягкое железо (98,5 % Fe). Для введения в образцы фосфора и кальция использовали феррофосфор и силикокальций (28 % Ca).

В первой серии экспериментов для исследо-

вания влияния кремния и железа на рассыпаемость ферромарганца были выплавлены сплавы: Mn–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–C_{нас}, Mn–Si (4 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (2 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (4 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (5 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (6 %)–C_{нас}.

Влияние алюминия, фосфора и кальция на процесс рассыпания исследовали во второй серии экспериментов. Для этого были выплавлены сплавы с различным содержанием этих элементов.

Образцы массой 50 г выплавляли в печи сопротивления с трубчатым угольным нагревателем в графитовых тиглях. После расплавления исходных материалов расплав подвергали изотермической выдержке в течение 30 мин. Температура выдержки составляла 1673–1973 К в зависимости от состава расплава. После выдержки тигли с расплавом охлаждали с печью (медленное охлаждение) или жидкий расплав выливали в чугунную изложницу и охлаждали ее на воздухе (быстрое охлаждение). Образцы извлекали из тигля или изложницы и каждый образец делили на три части: одну часть заливали парафином, вторую часть помещали в эксикатор, на дне которого была вода, третью часть помещали на подставку на воздухе.

В течение первого месяца состояние образцов контролировали ежедневно, далее — один раз в каждые десять суток.

Для подтверждения полученных закономерностей по рассыпанию ферромарганца дальнейшие исследования проводили со сплавом, выплавленным с использованием карбонатных марганцевых руд Усинского месторождения.

Ферромарганец выплавляли флюсовым способом из обожженной при температуре 1173 К карбонатной марганцевой руды (40–42 % Mn, 13–15 % SiO₂, 1,6–1,8 % Fe, 0,3–0,4 % P), доломитизированного известняка, кокса и железной стружки в полупромышленной печи мощностью 100 кВт·А. Шихта рассчитывалась на получение в сплаве 4–5 % Si. Сплав по мере накопления выпускали в ковш, после отделения от шлака разливали в плоские изложницы толщиной 100–120 мм и отправляли на химический анализ.

Слиток после остывания дробили до фракции 30–100 мм и выдерживали в течение 4–44 сут, при этом сплав рассыпался в порошок.

Для понижения содержания фосфора рассыпавшийся сплав смешивали в соотношении 1:1 со смесью NaCl + Na₂CO₃ (соотношение компонентов в смеси 1:1), брикетировали и выдерживали при температуре 1173 К в течение 120 мин в нагревательной печи.

После изотермической выдержки сплав отмывали горячей водой от соли, сушили, дробили до крупности 100–200 мкм.

Результаты первой серии экспериментов показали, что рассыпание образцов, содержащих кремний, началось через 15 сут.

Наибольшую склонность к рассыпанию проявил образец, не содержащий кремний. Сплав с содержанием 2 % Si рассыпался в порошок серого цвета с размером зерна 1–1,5 мм, сплав с 4 % Si — в порошок землисто-серого цвета.

Химический и рентгеновский анализы порошков производили по окончании рассыпания. Результаты анализа показали, что полученные порошки рентгеноаморфны. Кинетику рассыпания оценивали по увеличению массы образцов. Из кинетических зависимостей, приведенных на рис. 1, следует, что рассыпание сплава в основном завершается после 30–40 сут выдержки.

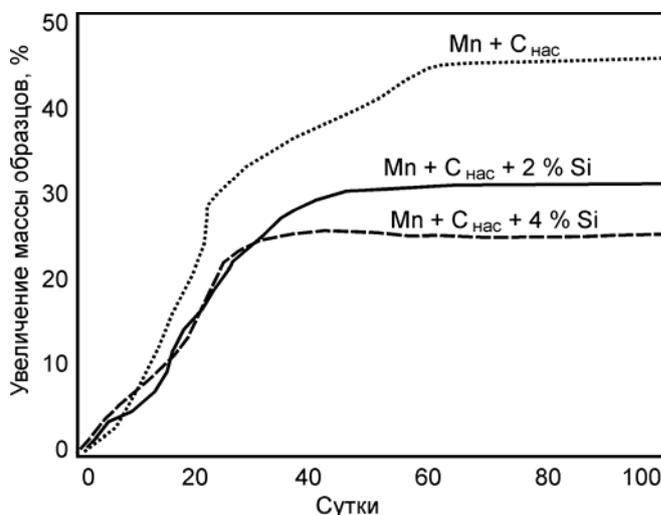


Рис. 1. Изменение массы в процессе рассыпания образцов

Помещенные во влажную атмосферу эксикатора пробы образцов полностью рассыпались через три дня.

Влияние железа на рассыпаемость сплавов изучали при содержании кремния 2 %, изменяя добавки железа — 2, 4, 5, 6 %. Сплавы указанных составов насыщались углеродом при температурах 1823 и 2023 К. Затем тигли с расплавами охлаждали на воздухе. Кристаллизация сплавов завершалась через 25–30 с. По-видимому, из-за быстрой скорости охлаждения рассыпание сплавов с 2 и 4 % Fe, выплавленных как при 1823 К, так и при 2023 К, началось и завершилось практически одновременно — через 7 сут.

Образцы с содержанием железа 5 и 6 % не рассыпались в течение 180 сут. Полученные результаты исследований хорошо согласуются с выводами авторов работы [14] о повышении стойкости ферромарганца при увеличении содержания в нем железа выше 5 %. Поведение образцов сплавов описано в таблице.

СОСТАВ И ПОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ СПЛАВОВ

Номер сплава	Состав навески	Внешняя среда		
		парафин	эксикатор	воздух
1	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 15 сут, порошок серого цвета
2	$Mn + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 75 сут, порошок бурого цвета	Частичное рассыпание через 90 сут, порошок бурого цвета
3	$Mn_{(мет)} + 2 \% Si + 2 \% Al + C_{нас}$ (остывание с печью)	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 20 сут
4	$Mn_{(мет)} + 2 \% Al + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 4 сут, порошок серого цвета, а затем приобрел бурый оттенок	Полное рассыпание через 20 сут, порошок бурого цвета
5	$Mn_{(мет)} + 2 \% Fe + 2 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 120 сут
6	$Mn_{(мет)} + 4 \% Fe + 2 \% Al + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 90 сут, порошок серого цвета	Рассыпался через 120 сут в порошок крупной фракции серого цвета
7	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полностью рассыпался через 14 сут, порошок бурого цвета
8	$Mn_{(мет)} + 5 \% Fe + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не рассыпался через 75 сут, но после открытия эксикатора сразу рассыпался	Не рассыпался даже через 180 сут, но слиток хрупкий
9	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Al + 4 \% Fe + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 10 сут	Полностью рассыпался через 78 сут
10	$Mn_{(мет)} + 6 \% Si + 6 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Осыпалась лишь поверхность слитка через 150 сут
11	$Mn_{(мет)} + 6 \% Fe + 6 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Не рассыпался совершенно даже через 180 сут
12	$Mn_{(мет)} + 2 \% Si + 2 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Полное рассыпание через 20 сут, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания
13	$Mn_{(мет)} + 0,1 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Интенсивное рассыпание через 15 сут
14	$Mn_{(мет)} + 0,4 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут, порошок бурого цвета	Рассыпался через 12 сут, порошок бурого цвета
15	$Mn_{(мет)} + 0,8 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался на вторые сутки	Рассыпался через 10 сут
16	$Mn_{(мет)} + 2 \% Ca + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался на вторые сутки, порошок бурого цвета	Рассыпался через 7 сут, порошок бурого цвета
17	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Ca + C_{нас}$	Не рассыпался	Порошок светло-бурого цвета	Рассыпался через 7 сут, порошок бурого цвета
18	$Mn_{(мет)} + 6 \% Ca + 6 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Через 30 сут полностью рассыпался, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания
19	$Mn_{(мет)} + 2 \% Ca + 2 \% Si + 2 \% Fe + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Рассыпался через 25 сут, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания

Для определения влияния концентрации углерода на рассыпание выплавляли сплав Mn–Si (2 %) с добавками 2, 4, 5 % углерода в тигле из карбонитрида бора. Температура изотермической выдержки 1823 К. Сплавы выдерживались на воздухе 120 сут, появление трещин и осыпание образцов отсутствовало. В то же время сплав Mn–Si (2 %)– $C_{нас}$ полностью рассыпается через 15 сут (см. рис. 1).

При рассыпании сплавов Mn–Si (2 %)– $C_{нас}$ и Mn–Si (4 %)– $C_{нас}$ результаты химического анализа показали снижение концентрации углерода

до 1,86 и 2,02 % соответственно.

Через каждые трое суток отбирали пробы на содержание углерода по ходу рассыпаемости сплавов на воздухе (сплавы 12, 18, 19). Содержание углерода в рассыпавшихся сплавах составляло: 1,6 % (сплав 12), 2,0 % (сплав 18) и 2,05 % (сплав 19).

Таким образом, в результате проведения второй серии экспериментов установлено, что рассыпаются сплавы марганца, насыщенные углеродом и содержащие менее 12 % (в сумме) таких примесей, как Fe + Si + Al + Ca. Наиболь-

шее влияние на скорость рассыпания оказывают добавки кремния, кальция и фосфора, причем скорость рассыпания значительно меньше для сплавов, насыщенных углеродом с 4–8 % примесей (Fe + Al + Ca), но не содержащих кремния. Совершенно не рассыпаются сплавы с содержанием более 5 % железа, а также сплавы, содержащие более 4 % алюминия (см. таблицу).

Присадки фосфора в сплав Mn–C_{нас} увеличивают скорость рассыпания (сплавы 13–15). Следует отметить, что при рассыпании сплавов содержание фосфора в них понижается в среднем на 25–30 %. В сплаве 13 содержание фосфора после рассыпания сплава составило 0,075 %, а в сплавах 14, 15 — 0,3 и 0,57 % фосфора соответственно.

Сплавы различного состава наиболее полно и быстро рассыпаются в атмосфере паров воды. Сплавы, изолированные от взаимодействия с атмосферой, залитые парафином, не рассыпаются. После нарушения герметизации они рассыпаются, но значительно медленнее, что подтверждают наблюдения. Таким образом, благодаря изоляции сплава от воздействия атмосферной влаги можно изменить скорость рассыпания сплава: подавить процесс рассыпания на некоторое время, а затем его замедлить. Для всех исследуемых сплавов определен фазовый состав после рассыпания. Рентгенофазовый анализ показал, что основной составляющей рассыпавшихся сплавов является гидроксид марганца.

В процессе кристаллизации и последующего охлаждения сплава возникают структурные изменения, увеличивающие внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин, о чем свидетельствует характерное потрескивание остывающих лабораторных слитков.

Влага из атмосферы проникает по трещинам к границам кристаллов, где обычно располагаются примеси, в частности соединения фосфора. Фосфор, как известно, склонен к ликвации. Влага взаимодействует с фосфором с образованием летучих соединений, что приводит к нарушению сплошности слитка и его рассыпанию. Так как выделяющиеся соединения ядовиты, рассыпание сплавов следует производить в специальных камерах с последующим улавливанием и утилизацией газовой фазы.

В ходе исследования выявлено, что увеличение содержания углерода до C_{нас} способствует рассыпанию сплавов. При этом установлено, что при рассыпании сплавов содержание углерода снижается в среднем до 1,8–2,0 %, что соответствует содержанию углерода в среднеуглеродистом ферромарганце.

Для выплавки углеродистого ферромарганца шихту рассчитывали на получение в сплаве 4–5 % Si, что увеличивает склонность сплава к рассыпанию.

В результате проведенных плавов были получены сплавы ферромарганца с содержанием 82–85 % Mn, 4,0–5,2 % Si, 0,55–0,77 % P, 5,6–6,0 % C, 4–5 % Fe. Кратность шлака 1,7–1,8. Извлечение марганца 80–82 %. Слитки после охлаждения дробили до фракции 30–100 мм и выдерживали в течение 4–14 сут, при этом сплав рассыпался в порошок. Высокое содержание фосфора, пониженное содержание железа (менее 5 %), повышенное содержание кремния (~5 %), а также медленное охлаждение после разлива — факторы, способствующие рассыпанию сплава. В результате рассыпания содержание углерода в нем понижалось до 1,8–2,0 %, а фосфора — до 0,5–0,55 %.

Рассыпавшиеся сплавы были подвергнуты твердофазной дефосфорации. Решающим фактором успешного удаления фосфора из марганцевых сплавов является создание высокоактивного солевого расплава с низкой температурой плавления и высокой жидкоподвижностью.



Рис. 2. Технологическая схема дефосфорации марганцевых сплавов расплавами солей NaCl–Na₂CO₃

Более высокие показатели дефосфорации получены при использовании легкоплавких солей с добавками кислородсодержащих компонентов, в частности Na₂CO₃.

Установлено, что смесь NaCl + Na₂CO₃ может успешно использоваться для дефосфорации марганцевых сплавов.

На основе полученных результатов исследований была разработана технологическая схема твердофазной дефосфорации марганцевых сплавов, применение которой позволяет снизить содержание фосфора на 50–60 % в углеродистом ферромарганце и на 50 % в силикомарганце, при этом имеет место окислительная дефосфорация, протекающая при более низких температурах и, как правило, связанная с применением сравнительно недорогих недефицитных материалов (рис. 2).

Химический анализ показал, что полученные сплавы имеют состав: 86–88 % Mn, 5 % Si, 0,18–0,20 % P, 1,8–2,0 % C, близкий к составу среднеуглеродистого ферромарганца. При испытании

сплавов в качестве компонента обмазки сварочных электродов были получены положительные результаты.

В результате выполненных исследований установлено:

– наибольшее влияние на рассыпаемость углеродистого ферромарганца оказывают внешняя среда, скорость кристаллизации и добавки кремния, фосфора, углерода;

– реализация технологической схемы твердофазной дефосфорации с одновременным снижением содержания углерода позволила получить ферромарганец с пониженным содержанием фосфора и углерода, выплавленный из фосфористых карбонатных марганцевых руд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vamauskas, V. A. Investigation of Alloy Elements Transfer in Arc Facing by High Carbon and Chromium Content Electrodes [Text] / V. Vamauskas, A. V. Valiulis, V. Rudzinskas // *Solid State Phenomena*. — 2008. — V. 144. — P. 257–260.
2. Sivanagaraju, S. Generation and Utilization of Electrical Energy [Text] / S. Sivanagaraju, M. Balasubba Reddy, D. Srilatha. — 2010. — 571 p.
3. Гасик, М. И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. — М.: Интермет Инжиниринг. — 2000. — 764 с.
4. Zhang, J. Process of Shaking Ladles for Producing Ferroalloy [Text] / J. Zhang, S. Q. Ni, S. J. Chu // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — V. 442. — P. 238–243.
5. Pan, M. C. Study of Heat Treatment Technology on Medium-Carbon-Low-Alloy-Steel Large Hammer Formation of Gradient Performance [Text] / M. C. Pan, X. L. Liu, R. Zou [et al.] // *Advanced Materials Research*. — 2014. — V. 881–883. — P. 1288–1292.
6. Salak, A. Effect of Manganese Addition and Sintering Conditions on Mechanical Properties of Low Carbon 3Cr Prealloyed Steels [Text] / A. Salak, M. Selecka // *Materials Science Forum*. — 2011. — V. 672. — P. 55–58.
7. Hryha, E. The Sintering Behaviour of Fe–Mn–C Powder System, Correlation between Thermodynamics and Sintering Process, Mn Distribution and Microstructure [Text] / E. Hryha, E. Dudrova // *Ibid.* — 2007. — V. 534–536. — P. 761–764.
8. Olsen, Sverre E. Production of Manganese Ferroalloys [Text] / Sverre E. Olsen, Sverre Olsen, Merete Tangstad, Tor Lindstad // *Tapir academic press*. — 2007. — 251 p.
9. Yang, Zhizheng. Mn Ore Smelting Reduction Based on Double Slag Operation in BOF [Text] / Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfu Ding // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — V. 753–755. — P. 76–80.
10. Rozhikhina, I. D. Producing manganese-bearing materials with a reduced phosphorus content [Text] / I. D. Rozhikhina // *Steel in Translation*. — 2007. — V. 37. — № 6. — С. 486–489.
11. Rozhikhina, I. D. Producing manganese alloys with reduced phosphorus and carbon content [Text] / I. D. Rozhikhina, O. I. Nokhrina // *Ibid.* — 2004. — V. 34. — № 12. — С. 72–74.
12. Пат. 2209259 Российской Федерации, МКИ С 21 С 7/064. Способ дефосфорации ферромарганца / И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, А. В. Латышев [и др.]. — № 2002103686/02; заявл. 08.02.02; опубл. 27.07.03. Бюл. № 21.
13. Chen, G. Thermodynamic analysis and experimental study of manganese ore alloy and dephosphorization in converter steelmaking [Text] / G. Chen, S. He // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. — 2014. — V. 114. — P. 391–399.
14. Танабэ, И. К вопросу о рассыпаемости высокоуглеродистого ферромарганца с низким содержанием железа [Текст] / И. Танабэ, Т. Тоэта // *J. Japan Inst Metals*. — 1960. — № 5. — С. 272–274.
15. Жучков, В. И. Структура и физико-химические характеристики ферросплавов [Текст] / В. И. Жучков, М. И. Гасик, О. Ю. Шешуков // *Электрометаллургия*. — 2006. — № 6. — С. 39–44.

УЛУЧШЕНИЕ ПЛОСКОСТНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

М. А. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук; Э. А. ГАРБЕР, д-р техн. наук
(ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»)

Повышение требований к показателям плоскостности холоднокатаных стальных листов — одна из тенденций современного листопрокатного производства, вызванных развитием ряда отраслей машиностроения, использующих холоднокатаные листы, в частности автомобильной промышленности.

Дефекты плоскостности (неплоскостность) характеризуются вертикальными отклонениями поверхности листа от горизонтальной плоской поверхности контрольной плиты. По длине листа они имеют вид синусоидальных кривых. Если эти отклонения находятся одновременно у левой и правой боковых кромок, их называют симмет-

ричной волнистостью; если только у одной из кромок — односторонней волнистостью. Если они находятся в середине ширины полосы, их называют коробоватостью (коробом) в середине. Неплоскостность, расположенную между серединой и боковой кромкой, называют несимметричным коробом.

В качестве численной характеристики неплоскостности в большинстве стандартов используют максимальную величину указанного выше вертикального отклонения (высоту неплоскостности) на длине 1 м, нормируемую как допуск на неплоскостность (см. таблицу).

ДОПУСКИ НА НЕПЛОСКОСТНОСТЬ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ЛИСТОВ В СТАНДАРТАХ РАЗНЫХ СТРАНАХ

Стандарт (страна)	Группа точности	Допуски на отклонение от плоскостности, при ширине листа b , мм		
		до 1000 (вкл.)	свыше 1000 до 1500	свыше 1500
ГОСТ 19904–90 (Россия)	Особо высокая	4	5	6
	Высокая	8	8	10
	Улучшенная	10	12	15
	Нормальная	12	15	18
ASTM-568–92 (США) (при толщине листов до 1,0 мм)	Предел текучести менее 310 МПа	10 ($b \leq 900$ мм)	15 ($b = 900–1500$)	20
	Предел текучести 310–345 МПа	20	30	40
DIN 1623.1–83 (Германия) (при толщине листов до 0,7 мм)	Нормальная	12 ($b \leq 1200$)	15 ($b = 1200–1500$)	19
	Высокая	5	6	8
JISG 3141–90 (Япония)	Волна по кромке	8	9 ($b = 1000–1250$)	11 ($b = 1250–1600$)
	Центральная коробоватость	6	8	8

Неплоскостность контролируют и при горячей, и при холодной прокатке листового металла, однако большинство публикаций, посвященных методам улучшения плоскостности, относится к холодной прокатке [1–3].

Согласно этим публикациям, лист приобретает неплоскостность, если при прокатке хотя бы в одной рабочей клети не соблюдается условие: равенство коэффициентов вытяжки по ширине

полосы. Для i -й клети многоклетевого стана это условие выражается так:

$$\mu_i(y) = \mu_{i\text{зад}} = \text{const}, \quad (1)$$

где $\mu_i(y)$ — коэффициент вытяжки в произвольном сечении по ширине полосы с координатой y , направленной параллельно оси валка, т. е. перпендикулярно направлению прокатки.

Величина $\mu_i(y)$ — это отношение длины листа в сечении с координатой y на выходе из i -й клетки к длине на входе. Рассматривая указанные длины в единицу времени, получим:

$$\mu_i(y) = \frac{v_i(y)}{v_{i-1}(y)}, \quad (2)$$

или, согласно закону постоянства секундных объемов полосы (при отсутствии уширения):

$$\mu_i(y) = \frac{h_{i-1}(y)}{h_i(y)}, \quad (3)$$

где $v_{i-1}(y)$, $h_{i-1}(y)$ — скорость, толщина полосы в сечении с координатой y на выходе из $(i-1)$ -й клетки (т. е. на входе в i -ю клетку); $v_i(y)$, $h_i(y)$ — скорость и толщина полосы на выходе из i -й клетки в том же сечении.

Так как холодная прокатка тонких полос производится с существенным натяжением, на стане неплоскостность не проявляется: полоса выглядит плоской, однако по ее ширине имеет место непостоянство удельных натяжений: на участках, получивших в i -й клетки большую вытяжку, удельные натяжения меньше, чем на соседних участках. Используя эту особенность процесса холодной прокатки, авторы работ [1, 2] разработали для непрерывных станов систему автоматического регулирования профиля и формы полосы (САРПФ), в которой датчиками являются стрессометры, контролирующие удельные натяжения по ширине полосы. В работах Ю.Д. Железнова и его учеников [1, 2] изложены теоретические исследования взаимосвязи сигналов этих датчиков с исполнительными органами САРПФ (гидроизгибом валков, разделным управлением нажимными устройствами и секционным охлаждением).

Большинство современных непрерывных станов холодной прокатки оснащены САРПФ, однако, несмотря на эффективную работу этих систем, после ужесточения требований к показателям неплоскостности исключить отсортировку металла по этому виду дефекта не удается.

Авторы провели анализ этого вопроса и установили, что главная причина отсортировки — большое число нестабильных факторов технологии, которые могут нарушать условие (1) — равенство коэффициентов вытяжки по ширине полосы.

Классификация этих факторов показала, что их можно разделить на следующие группы:

1. Дефекты поперечного профиля горячекатаного подката:

а) увеличенная или уменьшенная относительно требуемой (заданной) поперечная разнотолщинность подката;

б) клиновидность поперечного профиля (неравенство толщин у левой и правой боковых кромок);

в) смещение вершины (максимальной толщины) относительно середины поперечного профиля;

г) местные неровности поперечного профиля.

2. Повышенные колебания толщины подката в продольном направлении (сверхнормативная продольная разнотолщинность).

3. Недостатки в выполнении шлифовочных профилировок рабочих валков стана холодной прокатки:

а) завышенная или заниженная сверх необходимой (заданной) шлифовочная выпуклость;

б) местные отклонения от заданной плавной кривой шлифовочного профиля.

4. Недостатки функционирования САРПФ.

Главный из них состоит в том, что датчики САРПФ — измерители удельных натяжений — по своему принципу действия неадекватно характеризуют реальное распределение удельных натяжений по ширине полосы, так как при постоянстве сил натяжений удельные натяжения ($N/m^2 = Па$), сигналы которых воспринимают датчики, могут быть не постоянными по ширине из-за поперечной и продольной разнотолщинности полосы.

В результате исполнительные органы САРПФ отрабатывают не реальное распределение удельных натяжений, а эмпирически заданную оператором стана в виде уставки кривую распределения по ширине полосы условных удельных натяжений.

Этот недостаток датчиков САРПФ не гарантирует получения минимальной неплоскостности полос, соответствующей категории «особо высокая плоскостность» (см. таблицу).

Кроме главного недостатка, эффективность работы САРПФ могут снижать неточности настройки секционного охлаждения валков и системы их гидравлического изгиба.

5. Дополнительные факторы, производные от групп 1–4:

а) неравномерный износ по длине бочки валков;

б) неравномерная температура бочки валков на ширине полосы.

Публикаций о теоретических и экспериментальных исследованиях этих факторов и путях уменьшения их влияния на плоскостность до начала наших работ авторы не обнаружили.

Для восполнения этого пробела в теории и технологии холодной прокатки разработали технологическую модель неплоскостности, включающую зависимости показателей неплоскостности и неравномерностей коэффициентов вытяжки по ширине полосы от колебаний перечисленных выше нестабильных факторов технологий горячей и холодной прокатки [4].

В модели использованы уравнения механики сплошной среды, из которых вытекает ряд базовых выражений взаимосвязи между исходными параметрами технологии и характеристиками неплоскостности.

Взаимосвязь высоты неплоскостности и отклонения от заданного (постоянного по ширине) коэффициента вытяжки выражается уравнением

$$\left(\frac{A_i(y)\pi}{2\lambda}\right)^2 = \frac{\Delta\mu_i(y)}{\mu_{i\text{зад}}}, \quad (4)$$

где $A_i(y)$ — высота неплоскостности на выходе полосы из i -й клетки на участке с координатой y ; λ — длина волны, корoba или шаг неплоскостности; $\mu_{i\text{зад}}$ — заданный коэффициент вытяжки полосы в i -й клетки, определяемый из режима обжатий, указанного в операционной карте, как отношение толщины полосы перед клетью h_{i-1} к толщине полосы на выходе из клетки h_i ; $\Delta\mu_i(y)$ — отклонение от заданного коэффициента вытяжки при прокатке в i -й клетки в зоне, находящейся на расстоянии y от середины полосы (от оси прокатки).

Если отклонение $\Delta\mu_i(y)$ возникло вследствие искажения профиля задаваемого в i -ю клетку подката, то его величину можно определить из уравнения

$$\frac{\Delta\mu_i(y)}{\mu_{i\text{зад}}} = \frac{\Delta h_{(i-1)}(y)}{h_{(i-1)}(y)_{\text{зад}}}, \quad (5)$$

где $\Delta h_{(i-1)}(y)$ — отклонение на полосе, выходящей из $(i-1)$ -й клетки, от заданной толщины $h_{(i-1)}(y)_{\text{зад}}$.

Заданная толщина подката для i -й клетки в точке с координатой y определяется заданной толщиной подката в середине $h_{(i-1)\text{с зад}}$ и его заданной поперечной разнотолщинностью $\delta h_{(i-1)\text{зад}}$:

$$h_{(i-1)}(y)_{\text{зад}} = h_{(i-1)\text{с зад}} - \left(\frac{2y}{b}\right)^2 \delta h_{(i-1)\text{зад}}. \quad (6)$$

Величина $\delta h_{(i-1)\text{зад}}$ определяется заданной (допускаемой) поперечной разнотолщинностью горячекатаного подката $\delta h_{0\text{зад}}$ и суммарной вытяжкой в $(i-1)$ -й клетки $\mu_{(i-1)\text{зад}}$:

$$\delta h_{(i-1)\text{зад}} = \delta h_{0\text{зад}} \frac{1}{\mu_{(i-1)\text{зад}}}, \quad (7)$$

где

$$\mu_{(i-1)\text{зад}} = \frac{h_{0\text{с зад}}}{h_{(i-1)\text{с зад}}}. \quad (8)$$

Из выражения (8) можно вычислить заданную толщину в середине полосы на входе в i -ю клетку:

$$h_{(i-1)\text{с зад}} = \frac{h_{0\text{с зад}}}{\mu_{(i-1)\text{зад}}}. \quad (9)$$

Если отклонение $\Delta\mu_i(y)$ возникло из-за местного отклонения от заданной толщины полосы на выходе из i -й клетки, вызванного местным изменением диаметра валков i -й клетки и равного

$$\Delta\delta h_i(y) \approx \Delta D_i(y) \frac{M_c}{M_c + m_n}, \quad (10)$$

то показатели неплоскостности с учетом выражений (4), (5) и (10) будут равны

$$\left(\frac{A_i(y)\pi}{2\lambda}\right)^2 = \frac{\Delta D_i(y)}{h_i(y)_{\text{зад}}} \cdot \frac{M_c}{M_c + m_n}, \quad (11)$$

где $\Delta D_i(y)$ — изменение диаметра бочки в сечении y ; M_c — жесткость рабочих валков на ширине полосы (отношение разности погонных усилий в середине и у края полосы к разности упругих деформаций валка в середине и у края полосы); m_n — жесткость полосы (отношение усилия прокатки к абсолютному обжатию).

Используя систему уравнений (4)–(11), составляющую основу технологической модели, рассчитали показатели неплоскостности холоднокатаных полос на выходе из пятиклетьевого стана 1700 в зависимости от отклонений поперечного профиля горячекатаного подката: допустимых по стандарту и фактических, зафиксированных измерителем профиля (томографом) на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 2000.

Сопоставление расчетных и фактических данных, полученных при функционировании САРПФ, показало, что при допустимых отклонениях поперечного профиля подката за счет средств регулирования пятиклетьевого стана высота неплоскостности уменьшается в 1,5–4,5 раза.

Для определения реальной неплоскостности и сопоставления результатов моделирования с фактическими данными выполнили замеры плоскостности полос сортамента “Евротары” (сталь 08Ю, 0,35×980–1100 мм) после их дрессировки.

Для замеров использовали 13 образцов длиной 1,3–1,5 м, отобранных от начала рулонов. На всех полосах наблюдалась волнистость, как правило, односторонняя, по левой кромке, что, очевидно, являлось следствием клиновидности подката.

Из 13 проб на 9 пробах высота неплоскостности по кромке не превышала 5 мм, в 4 пробах она составила 6–7 мм, шаг волны достигал 160–730 мм. Используя показатель неплоскостности, предложенный стандартом США ASTM A568/A568M-03:

$$I = 24,7 \left(\frac{H}{L} \times 100 \right)^2, \quad (12)$$

где H — высота неплоскостности; L — длина (шаг) волны, короба, определили допустимый показатель неплоскостности при $H = 5$ мм и $L = 1000$ мм, получили допускаемое значение этого показателя, равное $I_{\text{доп}} = 24,7$.

Пересчитав по формуле (12) показатели I при высоте волны 5 мм с фактических шагов волны на шаг 1 м, получили:

а) при шаге 160 мм $I = 241$, что в пересчете на шаг 1 м составило высоту волны 31 мм;

б) при шаге 730 мм $I = 11,59$, что в пересчете на шаг 1 м составило высоту волны 6,8 мм.

Таким образом, фактические амплитуды неплоскостности составили 6,8–31 мм, расчетные амплитуды для того же сортамента без регулирования плоскостности на стане составили 30–35 мм, с регулированием — 6–9 мм.

Исходя из полученных данных, был сделан вывод, что результаты моделирования достоверно отражают реальную неплоскостность холоднокатаных полос.

На основании этого вывода были предложены и успешно испытаны в производстве технологические усовершенствования, существенно

уменьшившие отрицательное влияние нестабильных факторов технологии на плоскостность холоднокатаных полос. В первую очередь они были направлены на улучшение качества поперечного профиля горячекатаного подката:

– исключение перешлифовок рабочих валков чистовой группы стана, не остывших после вывалки до температуры окружающей среды;

– применение специальных шлифовочных профилировок рабочих валков, компенсирующих несоответствие форм их теплового профиля и упругих деформаций [5];

– стабилизация режимов нагрева слябов и прокатки их в черновой группе широкополосного стана.

Установлено, что благодаря этим мероприятиям отклонения поперечного профиля подката от допустимых значений уменьшились: по клиновидности — в 3–4 раза, по поперечной выпуклости — в 1,5–2 раза, по смещению вершины — в 5–6 раз.

Другая группа усовершенствований касалась повышения эффективности работы САРПФ на непрерывном стане холодной прокатки. Главное из них — более точное задание операторами стана уставки для датчиков распределения удельных натяжений по ширине полосы. Это обеспечивали путем кратковременного уменьшения натяжения между последней клетью и моталкой, что позволяло, увидев реальную форму полосы, скорректировать уставку.

Остальные усовершенствования, относящиеся к другим агрегатам цеха холодной прокатки (дрессировочному стану и агрегату продольной резки), представлены в работе [4].

В совокупности изложенные мероприятия позволили увеличить выпуск холоднокатаного листа, соответствующего категории “особо высокая плоскостность”, снизив отсортировку более чем в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Железнов, Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос [Текст] / Ю. Д. Железнов. — М.: Металлургия, 1971. — 200 с.
2. Белянский, А. Д. Тонколистовая прокатка (технология и оборудование) [Текст] / А. Д. Белянский, Л. А. Кузнецов, И. В. Франценюк. — М.: Металлургия, 1994. — 380 с.
3. Божков, А. И. Плоскостность тонколистового проката [Текст] / А. И. Божков, В. П. Настич. — М.: Интернет Инжиниринг, 1998. — 264 с.
4. Гарбер, Э. А. Влияние нестабильных технологических факторов прокатки на плоскостность холоднокатаных полос [Текст] / Э. А. Гарбер, С. И. Павлов, В. В. Кузнецов [и др.] // Производство проката. — 2008. — № 11. — С. 2–13.
5. Гарбер, Э. А. Промышленные испытания усовершенствованных профилировок рабочих валков на широкополосном стане горячей прокатки [Текст] / Э. А. Гарбер, М. В. Хлопотин, А. Ф. Савиных [и др.] // Там же. — 2008. — № 4. — С. 18–22.

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ С355П, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*С. П. ЗУБОВ, А. А. ПРИДЕИН, a.pridein@uralsteel.com;
Л. В. ПРОКОПЕНКО, Н. И. СИНДЯНОВ
(АО “Уральская сталь”)*

При проектировании отдельных строительных металлических конструкций обязательной характеристикой, предъявляемой к материалу, является его огнестойкость. Строительными нормами предусмотрена защита открытых участков металлоконструкций от воздействия высоких температур при пожаре, что влечет за собой разупрочнение конструкции. Современные технологии позволяют защитить основной материал металлоконструкций нанесением дорогостоящих огнезащитных материалов, что приводит к увеличению себестоимости строительства и сроков сооружения здания. Решением данной проблемы является применение огнестойкой строительной стали.

Огнестойкость характеризует возможность материала сохранять половину прочностных характеристик, определенных при комнатной температуре, после нагрева до определенной температуры.

В зарубежных стандартах такой температурой считается нагрев до температуры +500–550 °С с выдержкой в течение 1 ч. В соответствии с требованиями ТУ 14-1-5399 и ГОСТ 27772, предел текучести и временное сопротивление определяют при температуре +600 °С.

В 2000 г. на базе АО “Уральская сталь” с участием ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина” проведены соответствующие исследования по промышленному производству огнестойкой строительной стали класса прочности С345.

С целью установления огнестойкости некоторых низколегированных сталей были испытаны стали различных систем легирования: марганцовистая сталь 14Г2 и стали, микролегированные различными элементами (13Г1С-У, 13Г1СБ-У, 09Г2ФБ). Для сравнения за базовую сталь была взята огнестойкая сталь 06МБФ, специально разработанная и произведенная в условиях АО “Уральская сталь”.

Испытания на прочность при комнатной и повышенной температуре проводили на цилиндрических образцах с резьбой в соответствии с ГОСТ 9651.

Лучшей из рассматриваемых сталей по огнестойким свойствам была признана сталь 06МБФ,

у которой при испытаниях при +600 °С уровень свойств составил:

- предел текучести — 239,2 МПа (среднее значение);
- временное сопротивление — 284,1 МПа (среднее значение);
- степень разупрочнения $\sigma_{T+600}/\sigma_{B+600}$ — 0,69.

Стоит обратить внимание на достаточно высокий уровень величины степени разупрочнения металла при температуре +600 °С, а следовательно на его большую надежность в экстремальных условиях пожара. Такой результат был достигнут благодаря совместному легированию стали молибденом (0,12 %) и микролегированию карбидообразующими элементами (0,06 % V, 0,02 % Nb). В дальнейшем производство осуществлялось в термоулучшенном состоянии.

Итог данной работы — разработка технических условий ТУ 14-1-5399–2000 “Прокат толстолистовой с повышенной огнестойкостью для стальных строительных конструкций”.

Учитывая положительный опыт производства, тот факт, что в ГОСТ 27772–2015 включена сталь класса С355П повышенной огнестойкости, а также в связи с поступлением запроса от АО “Челябинский завод металлоконструкций” на возможность поставки листового проката из стали класса С355П, в 2017 г. возобновлены работы по отработке системы легирования и режимов производства листового проката повышенной огнестойкости.

С момента изготовления последней партии проката из огнестойкой стали в АО “Уральская сталь” произошли изменения в части состава основного оборудования и, соответственно, технологических возможностей по обеспечению качественных характеристик при производстве толстолистового проката. В процессе модернизации производства выполнено:

- реконструкция электропечей;
- введены в действие установка ковш-печь и установка по вакуумной обработке стали;
- ввод в действие слябовой установки непрерывной разливки и перевод всего производства толстого листа на использование литых слябов;

- реконструкция старых и ввод новой методических нагревательных печей;
- по проекту SMS Demag произведена полная замена черновой и чистой клетей стана 2800;
- введена в действие 11-роликовая листопрарильная машина;
- общая реконструкция действующего производства позволила автоматизировать процессы выплавки, разливки стали и прокатки;
- организация технологии термодиффузионной обработки листового проката (замедленного охлаждения в стопах).

В настоящее время проводится модернизация термического участка толстолистового стана 2800.

Переход на новую технологическую базу позволил на качественно новом уровне обеспечить производство столь ответственной продукции, как прокат для строительных металлоконструкций. Это касается в первую очередь обеспечения металлургической чистоты стали по неметаллическим включениям, вредным примесям и газам, узким интервалам по обеспечению химического состава, высокого уровня ударной вязкости, комплекса Z-свойств и сплошности по результатам ультразвукового контроля.

По опыту производства 2000 г. повторили легирование стали молибденом, ванадием, ниобием, при этом использовали три варианта сочетания данных элементов.

Учитывая возможности стана 2800 после реконструкции была опробована контролируемая прокатка с последующим ускоренным охлаждением листового проката огнестойкой стали С355П.

Для оценки возможности производства листового проката по схеме контролируемой прокатки и контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением стали С355П с обеспечением характеристик растяжения при температуре +600 °С проведены исследования по подбору оптимального химического состава, обеспечивающего нормируемый уровень характеристик при +600 °С и в то же время более низкую себестоимость стали в зависимости от легирования.

С этой целью произведено три плавки с изменением количественного легирования молибденом, хромом, никелем, ванадием, ниобием. Химический состав произведенной стали представлен в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОИЗВЕДЕННОЙ СТАЛИ

Сталь	Массовая доля химических элементов, не более или в пределах, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	N	Nb	V	Mo
С355П ГОСТ 27772	0,10	0,15– 0,35	0,60– 0,90	0,020	0,015	0,80	0,30	0,30	0,010– 0,035	0,020– 0,060	0,012	0,02– 0,09	0,09	0,08– 0,20
06МБФ ТУ 14-1- 5399	0,08– 0,10	0,15– 0,35	0,60– 0,90	0,010	0,010	0,50– 0,80	0,10– 0,30	0,20	0,015– 0,035	0,020– 0,0601	0,012	0,02– 0,04	0,06– 0,09	0,08– 0,20
Плавка № 1	0,08	0,26	0,73	0,008	0,003	0,21	0,10	0,12	0,015	0,035	0,006	0,05	—	0,03
Плавка № 2	0,10	0,28	0,52	0,004	0,002	0,62	0,22	0,08	0,004	0,029	0,006	0,04	0,06	0,05
Плавка № 3	0,10	0,23	0,51	0,007	0,002	0,54	0,06	0,09	0,004	0,035	0,006	0,03	0,05	0,01

Прокатку осуществляли по двум технологическим схемам: контролируемая прокатка и контролируемая прокатка с ускоренным охлаждением.

Результаты механических испытаний представлены в табл. 2 и 3.

ТАБЛИЦА 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТЯЖЕНИЯ

Сталь	Толщина листа, мм	Состояние поставки	Предел текучести, Н/мм ²		Временное сопротивление, Н/мм ²		Относительное удлинение δ ₅ , %
			+20 °С	+600 °С	+20 °С	+600 °С	
С355П ГОСТ 27772			355	200	470	240	21
06МБФ ТУ 14-1-5399			345	200	490–670	240–420	21
Плавка № 1	12	КП + УКО	500	180	550	275	23
	18	КП + УКО	450	210	550	250	28
Плавка № 2	20	КП	380	240	470	270	25
Плавка № 3	36	КП + УКО	470	220	580	250	21

ТАБЛИЦА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА УДАРНЫЙ ИЗГИБ

Сталь	Толщина листа, мм	Состояние поставки	КСУ ⁻⁷⁰ , Дж/см ²	КСУ ⁻⁴⁰ , Дж/см ²
С355П ГОСТ 27772				34
06МБФ ТУ 14-1-5399			59	34
Плавка № 1	12	КП + УКО	280	240
	18	КП + УКО	275	230
Плавка № 2	20	КП	265	235
Плавка № 3	36	КП + УКО	260	220

Распределение предела текучести и временного сопротивления листов плавки с химическим составом № 1 по результатам испытаний при температурах +20 и +600 °С приведены на рис. 1 и 2.

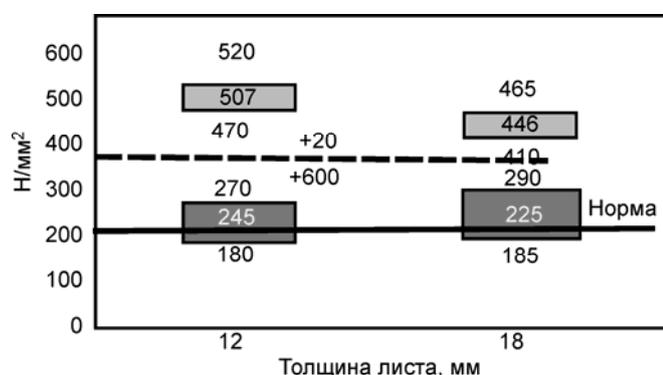


Рис. 1. Распределение предела текучести при температуре испытаний +20 и +600 °С листов плавки с химическим составом № 1

Анализ результатов показал, что корректировка только технологических параметров прокатки не обеспечивает требований по пределу текучести и временному сопротивлению при температуре +600 °С.

Из табл. 2 и 3 следует, что “экономное” легирование (плавка № 1) молибденом (0,03 %) не

обеспечивает нормируемый уровень предела текучести и временного сопротивления при температуре +600 °С.

Более “дорогое” легирование молибденом и никелем (плавки № 2 и 3) обеспечивает нормируемый уровень предела текучести и временного сопротивления при температуре +600 °С.

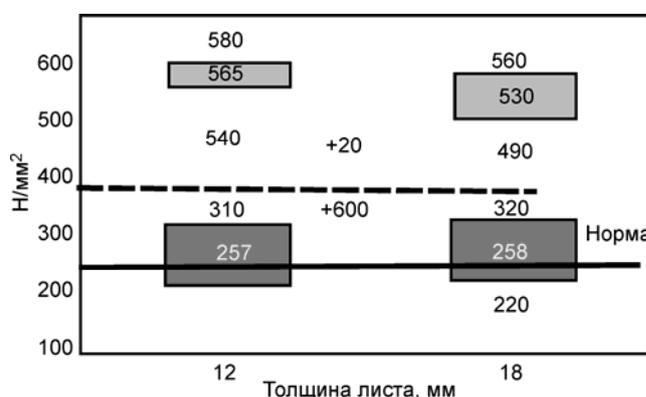


Рис. 2. Распределение временного сопротивления при температуре испытаний +20 и +600 °С листов плавки с химическим составом № 1

Для оценки влияния режимов прокатки на уровень свойств при температуре +600 °С выплавлена плавка № 4, химический состав представлен в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛАВКИ № 4

Сталь	Массовая доля химических элементов, не более или в пределах, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	N	Nb	V	Mo
С355П ГОСТ 27772	0,10	0,15–0,35	0,60–0,90	0,020	0,015	0,80	0,30	0,30	0,010–0,035	0,020–0,060	0,012	0,02–0,09	0,09	0,08–0,20
06МБФ ТУ 14-1-5399	0,08–0,10	0,15–0,35	0,60–0,90	0,010	0,010	0,50–0,80	0,10–0,30	0,20	0,015–0,035	0,020–0,0601	0,012	0,02–0,04	0,06–0,09	0,08–0,20
Плавка № 4	0,09	0,25	0,75	0,008	0,002	0,78	0,06	0,09	0,021	0,030	0,007	0,05	0,06	0,08

Слябы плавки с химическим составом № 4 были прокатаны на листы толщиной 12, 14 и 18 мм по трем вариантам: контролируемая прокатка, контролируемая прокатка с двумя режи-

мами последеформационного ускоренного охлаждения.

Результаты испытаний представлены в табл. 5, 6.

ТАБЛИЦА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТЯЖЕНИЯ

Сталь	Толщина листа, мм	Состояние поставки	Предел текучести, Н/мм ²		Временное сопротивление, Н/мм ²		Относительное удлинение δ ₅ , %
			+20 °С	+600 °С	+20 °С	+600 °С	
С355П ГОСТ 27772			355	200	470	240	21
06МБФ ТУ 14-1-5399			345	200	490–670	240–420	21
Плавка № 4	12	КП	495	230	590	270	26
		КП + УКО	510	225	610	250	25
		КП + УКО	520	215	600	265	25
	14	КП	495	210	590	260	27
		КП + УКО	490	220	610	260	25
		КП + УКО	495	210	620	250	25
	18	КП	460	230	560	250	28
		КП + УКО	480	210	570	245	27
		КП + УКО	480	210	570	240	27

ТАБЛИЦА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА УДАРНЫЙ ИЗГИБ

Сталь	Толщина листа, мм	Состояние поставки	КСУ ⁻⁷⁰ , Дж/см ²	КСУ ⁻⁴⁰ , Дж/см ²
С355П ГОСТ 27772				34
06МБФ ТУ 14-1-5399			59	34
Плавка № 4	12	КП	293	255
		КП + УКО	290	255
		КП + УКО	300	259
	14	КП	282	269
		КП + УКО	278	269
		КП + УКО	279	269
	18	КП	232	225
		КП + УКО	230	209
		КП + УКО	215	203

Распределение предела текучести и временного сопротивления по результатам испытаний при комнатной температуре (+20 °С) и при +600 °С приведено на рис. 3 и 4.

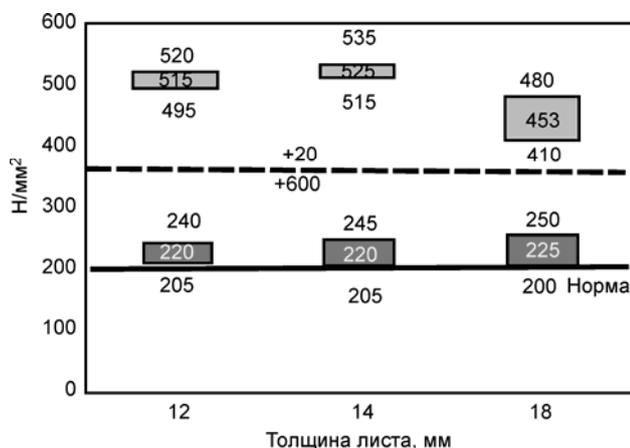


Рис. 3. Распределение предела текучести при температуре испытаний +20 и +600 °С листов плавки с химическим составом № 4

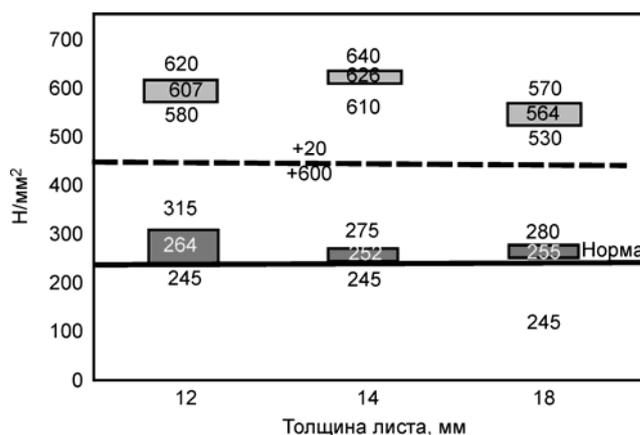


Рис. 4. Распределение временного сопротивления при температуре испытаний +20 и +600 °С листов плавки с химическим составом № 4

Из представленных данных видно, что режимы прокатки не оказывают существенного влияния на предел текучести и временное сопротивление при +600 °С.

Полученные результаты подтвердили, что огнестойкость стали характеризуется системой легирования Nb–V–Mo причем ключевая роль принадлежит молибдену. Необходимо отметить, что в зависимости от уровня цен на ферросплавы возможна частичная замена молибдена на хром.

Легирование ниобием и ванадием обеспечивает формирование мелкозернистой феррито-бейнитной структуры, которая позволяет достичь высоких значений ($200\text{--}300 \text{ Дж/см}^2$) ударной вязкости KCU^{-70} и KCV^{-40} , что с большим запасом обеспечивает нормируемые значения. При этом, что немаловажно, данная сталь соответствует не только заданному классу прочности С355, но и более высокому классу прочности С390.

Проведенный комплекс исследований позволил определить оптимальный химический состав, разработать систему легирования и конкретные режимы производства проката.

Учитывая систему легирования, в отличие от большинства конструкционных сталей данная сталь имеет более высокую себестоимость. Окончательный выбор между прокатом из огнестойкой стали и нанесением огнестойких покрытий на прокат из широко применяемых конструкционных сталей остается за заказчиком.

В условиях АО “Уральская сталь” внедрена технология промышленного производства листового проката из огнестойкой строительной стали класса прочности С355П с обеспечением высокой хладостойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Муратов, А. Н. Технологические аспекты производства огнестойкой стали для строительных конструкций [Текст] / А. Н. Муратов, А. М. Степашин, О. Н. Чевская [и др.] // Сб. тр. IX Междунар. конгресса сталеплавыльщиков. — 2007. — С. 215.
2. Морозов, Ю. Д. Низколегированная огнестойкая сталь для строительных конструкций [Текст] / Ю. Д. Морозов, А. Н. Муратов, А. М. Степашин, Г. А. Филиппов // Сб. тр. “Неделя металлов в Москве”. — М.: Metallurgizdat, 2007. — С. 157.
3. Шабалов, И. П. Ресурсосберегающие технологии производства толстолистового проката с повышенными потребительскими свойствами [Текст] / И. П. Шабалов, З. К. Шафигин, А. Н. Муратов. — М.: Metallurgizdat, 2007. — С. 352.

Трубное производство

УДК 669.14.018:41:669–413

ВЛИЯНИЕ ТРУБНОГО ПЕРЕДЕЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУЛОННОГО ПРОКАТА СИСТЕМЫ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ V-N

*В. В. НАУМЕНКО, канд. техн. наук, naumenko_yv@vsw.ru;
О. А. БАГМЕТ, канд. техн. наук; О. А. БАРАНОВА
(АО “Выксунский металлургический завод”)*

Одной из основных задач металлургического производства является изготовление труб из сталей с заданными уровнем механических свойств и параметрами структуры. Как известно, в процессе производства электросварных труб из рулонного проката значительно изменяются механические свойства стали: временное сопротивление, предел текучести, пластичность, ударная вязкость, а также температура вязкохрупкого перехода. Связано это с тем, что при различных технологических процессах, в первую очередь при формовке трубы перед сваркой, да-

лее при прохождении трубы через правильную клеть, гидроиспытаниях и испытаниях механических свойств на разогнутой пробе в металле происходит знакопеременная холодная пластическая деформация, приводящая к изменению свойств металла. Данное явление важно учитывать при разработке требований к механическим свойствам металла проката.

В условиях литейно-прокатного комплекса (ЛПК) АО “Выксунский металлургический завод” (ВМЗ) ведутся работы по разработке технологии производства хладостойкого рулонного проката

и труб из него без добавок ниобия [1–3]. Система микролегирования V–N считается наиболее подходящей с точки зрения получения заданного комплекса потребительских свойств металлопродукции (сочетание высокой прочности, пластичности и хладостойкости) при одновременной экономической выгоде в цене по сравнению с ниобиевыми аналогами [4]. Микролегирование стали ванадием и азотом способствует реализации механизма дисперсионного твердения, приводящего к повышению прочности без снижения

пластических и вязких свойств [5, 6]. При этом указанный способ практически не влияет на величину углеродного эквивалента и свариваемость стали, что особенно важно для сварных конструкций [7].

В связи с вышесказанным целью настоящей работы являлось изучение изменения комплекса механических свойств и микроструктуры опытного рулонного проката системы микролегирования V–N после трубного передела.

Материал и методика исследований

Объектом исследований служил опытный рулонный прокат толщиной 8 мм из сталей с добавками ванадия и азота, произведенный в условиях ЛПК АО ВМЗ по технологии контролируемой прокатки с завершением чистовой стадии в нижнем температурном интервале аустенитной области и с последующим ускоренным охлаждением. Отличие между сталями заключалось в

содержании азота и химических элементов (Mn, Si), входящих в твердый раствор (табл. 1). Сталь А содержала $\geq 1,3$ % Mn, $\geq 0,3$ % Si при содержании 0,018 % N, сталь Б — $\geq 0,8$ % Mn, $\geq 0,2$ % Si при 0,022 % N. Сталь В характеризовалась самым низким содержанием марганца ($\geq 0,5$ %) и азота (0,012 %).

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИССЛЕДУЕМОГО МЕТАЛЛА

Сталь	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	V	прочее
А	$\geq 0,06$	$\geq 0,3$	$\geq 1,3$	$\geq 0,008$	0,002	0,027	0,018	0,10	Cr, Ni, Cu
Б	$\geq 0,06$	$\geq 0,2$	$\geq 0,8$	$\geq 0,008$	0,001	0,023	0,022	0,10	
В	$\geq 0,06$	$\geq 0,2$	$\geq 0,5$	$\geq 0,008$	0,001	0,024	0,012	0,10	

Промышленное опробование производства труб, сваренных токами высокой частоты (ТВЧ) из исследуемого рулонного проката, проводилось на производственных площадках трубоэлектросварочного цеха № 3 АО ВМЗ с применением двухстадийной локальной термической обработки (ЛТО) сварного соединения, предусматривающей закалку при 950–980 °С и последующий высокий отпуск при температурах 720 и 780 °С.

После формовки и ЛТО трубы из стали А подвергались заключительной термической обработке в виде форсированного объемного отпуска (ФОО) при 580 °С, трубы из стали Б — при температурах 580 и 720 °С. Трубы из стали В после изготовления не подвергались ФОО.

Влияние трубного передела на стандартные механические свойства исследуемого металла при статических испытаниях на растяжение и динамических испытаниях на ударный изгиб оценивали на образцах, вырезанных в продольном и поперечном направлениях относительно направления прокатки. Статические испытания на растяжение проводили в соответствии с ГОСТ 1497 на плоских пятикратных образцах с определением временного сопротивления (σ_B , Н/мм²), предела текучести (σ_T , Н/мм²), относительного

удлинения (δ_5 , %). Для оценки стабильности свойств металла испытывали по 50 образцов в каждом направлении.

Динамические испытания образцов Шарпи (KCV) на ударный изгиб проводили по ГОСТ 9454 в интервале температур от +20 до –120 °С с шагом 20 °С. Для выбранных температур испытывали по пять образцов с фиксированием значений ударной вязкости (KCV, Дж/см²) и оценкой доли вязкой составляющей ($V_{(KCV)}$, %) в изломе каждого образца.

Оценку механических свойств и структурного состояния сварного соединения исследуемых труб проводили на образцах, изготовленных в поперечном направлении относительно оси трубы.

Исследование структурного состояния металла выполнено на металлографических шлифах после травления в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты, изготовленных в поперечном сечении по отношению к направлению прокатки и оси трубы. Металлографический анализ проведен с применением инвертированного кодированного металлографического микроскопа Axio Observer.D1m, оснащенного моторизованным предметным столом и анализатором изображения Thixomet.

Результаты и обсуждение

Результаты статических испытаний на растяжение представлены в табл. 2, 3. Как наглядно видно из приведенных данных, прочностные и пластические характеристики рулонного проката имеют достаточно стабильные значения и незначительные отличия в продольном и поперечном направлениях (см. табл. 2), что свидетельствует о минимальной анизотропии механических свойств металлопродукции из сталей системы микролегирования V–N. Полученные в стали А механические свойства (временное сопротивление 603–610 Н/мм², предел текучести 523–540 Н/мм², относительное удлинение 26–29 %) соответствуют классу прочности К60. Сталь Б характеризуется прочностными и пла-

стическими свойствами класса прочности К56 (временное сопротивление 580 Н/мм², предел текучести 500–510 Н/мм², относительное удлинение 26–28 %). Сталь В показала наименьшую величину прочности и текучести (временное сопротивление 458–470 Н/мм², предел текучести 383–395 Н/мм²), но при этом высокое относительное удлинение (28,5–31 %), соответствующие классу прочности К42. Следует отметить, что данная сталь содержала наименьшее количество марганца по сравнению со сталями А, Б. Также в данной стали было низкое содержание азота, которое не позволило в полной мере реализовать механизм дисперсионного твердения за счет выделения дисперсных частиц ванадия.

ТАБЛИЦА 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУЛОННОГО ПРОКАТА ИЗ ИССЛЕДУЕМЫХ СТАЛЕЙ

Сталь	Направление образцов относительно прокатки	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{r0,2}$, Н/мм ²	σ_r/σ_b	δ_5 , %
А	Поперечные (П)	<u>610–610</u> 610	<u>540–540</u> 540	<u>0,88–0,88</u> 0,88	<u>26–26</u> 26
	Продольные (Д)	<u>600–610</u> 603	<u>520–530</u> 523	<u>0,87–0,87</u> 0,87	<u>28–30</u> 29
Б	Поперечные (П)	<u>570–590</u> 580	<u>500–520</u> 510	<u>0,88–0,88</u> 0,88	<u>24–28</u> 26
	Продольные (Д)	<u>570–590</u> 580	<u>490–510</u> 500	<u>0,87–0,88</u> 0,88	<u>26–29</u> 28
В	Поперечные (П)	<u>470–470</u> 470	<u>395–395</u> 395	<u>0,84–0,84</u> 0,84	<u>28–29</u> 28,5
	Продольные (Д)	<u>455–460</u> 458	<u>380–385</u> 383	<u>0,83–0,84</u> 0,84	<u>31–31</u> 31
Механические свойства для различных классов прочности	К60	≥590	≥460	—	≥20
	К56	≥550	≥410	—	≥20
	К42	≥410	≥245	—	≥21

ТАБЛИЦА 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ Ø325×8 мм И Ø426×8 мм ИЗ ИССЛЕДУЕМЫХ СТАЛЕЙ

Сталь	Труба	Направление образцов относительно прокатки	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{r0,2}$, Н/мм ²	$\sigma_{r0,2}/\sigma_b$	δ_5 , %	σ_b , СС*, Н/мм ²
А	Ø325×8 ФОО 580 °С	Поперечные (П)	<u>630–660</u> 648	<u>500–540</u> 527	<u>0,79–0,82</u> 0,81	<u>18–23</u> 20	<u>590–670</u> 642
		Продольные (Д)	<u>630–650</u> 642	<u>550–570</u> 567	<u>0,87–0,88</u> 0,88	<u>21–24</u> 23	—
Б	Ø426×8 ФОО 580 °С	Поперечные (П)	<u>563–585</u> 573	<u>440–490</u> 464	<u>0,78–0,84</u> 0,81	<u>27–33</u> 30	<u>526–538</u> 531
		Продольные (Д)	<u>559–592</u> 573	<u>476–545</u> 514	<u>0,85–0,92</u> 0,90	<u>28–33</u> 31	—
	Ø426×8 ФОО 720 °С	Поперечные (П)	<u>538–593</u> 580	<u>453–515</u> 498	<u>0,84–0,87</u> 0,86	<u>26–33</u> 30	<u>521–538</u> 531
		Продольные (Д)	<u>566–606</u> 584	<u>514–554</u> 530	0,91	<u>29–34</u> 31	—

Сталь	Труба	Направление образцов относительно прокатки	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{T0,2}$, Н/мм ²	$\sigma_{T0,2} / \sigma_B$	δ_5 , %	σ_B , СС*, Н/мм ²
В	Ø426×8 Без ФОО	Поперечные (П)	<u>460–486</u> 475	<u>351–430</u> 388	<u>0,76–0,82</u> 0,82	<u>28–44</u> 36	<u>465–477</u> 473
		Продольные (Д)	<u>458–477</u> 468	<u>379–468</u> 413	<u>0,83–0,88</u> 0,88	<u>33–41</u> 37	—
Механические свойства труб для различных классов прочности		К60	≥590	≥460	—	≥20	≥590
		К56	≥550	≥410	—	≥20	≥550
		К42	≥410	≥245	—	≥21	≥410

* Сварное соединение трубы.

После трубного передела (см. табл. 3) средний уровень значений временного сопротивления основного металла труб остается практически на уровне значений для рулонного проката. Лишь при испытании образцов от трубы Ø325×8 мм из стали А временное сопротивление разрыву увеличилось на 40 Н/мм².

На предел текучести трубный передел влияет в большей степени, снижая его при испытании поперечных образцов в среднем от 7 до 46 Н/мм², что, по-видимому, является следствием эффекта Баушингера. При испытании продольных образцов, напротив, наблюдалась тенденция к увеличению предела текучести на 15–45 Н/мм², что в итоге приводит к увеличению отношения $\sigma_{T0,2} / \sigma_B$.

Изменение относительного удлинения было неоднозначным. В трубе из стали А показатель пластичности снизился в среднем на 6 % как на поперечных, так и на продольных образцах. В металле трубы из стали Б относительное удлинение почти не отличается от рулонного проката. Сталь В оказалась наиболее пластичной по сравнению с остальными сталями, значение относительного удлинения в готовой трубе возросло на 7 % при испытании поперечных и на 6 % при испытании продольных образцов.

Несмотря на изменение прочностных и пластических характеристик после трубного передела, почти все показатели механических свойств соответствуют нормативным значениям заданных классов прочности. Единичные выпадения наблюдаются по показателям предела текучести и относительного удлинения при испытании на растяжение поперечных образцов.

Сериальные испытания на ударный изгиб показали, что рулонный прокат (рис. 1, а, б) из стали с максимальным содержанием марганца и кремния при содержании 0,018 % N во всем интервале температур характеризовался наименьшим запасом вязкости. Сталь Б (0,022 % N)

по уровню средних значений KCV занимала промежуточное положение среди исследуемых сталей. Наибольшей ударной вязкостью обладал рулонный прокат из стали В с самым низким содержанием азота 0,012 %.

После трубного передела (см. рис. 1, в, г) ударная вязкость в металле труб из стали А и В снизилась в среднем на 40–60 Дж/см². Исключение составила ударная вязкость, полученная при температуре испытаний –80 °С, где среднее значение KCV металла трубы из стали В приблизительно на 250 Дж/см² выше, чем у металла рулонного проката. В трубах из стали Б ударная вязкость на 30–40 Дж/см² выше по сравнению с показателями рулонного проката. Разница между значениями ударной вязкости продольных и поперечных образцов в рулонном прокате и готовой трубе составила от 3 до 120 Дж/см².

Металлографическое исследование показало, что металл проката и труб типоразмеров Ø325×8 мм, Ø426×8 мм не претерпевает видимых структурных изменений при трубном переделе (рис. 2). Структура рулонного проката и основного металла имеет однородную феррито-перлитную структуру в продольном и поперечном направлениях прокатки, что связано с протеканием многократных процессов рекристаллизации при термомеханической обработке проката при его производстве в условиях ЛПК АО ВМЗ. Ферритное зерно в сталях А и Б соответствует 11, 12 номеру по ГОСТ 5639. В стали В зерно крупнее, преимущественно 10, 11 номера (рис. 3). Данная структура металла характеризуется стабильностью механических свойств и минимальной анизотропией, что и было подтверждено проведенными статическими испытаниями на разрыв (испытано по 50 образцов).

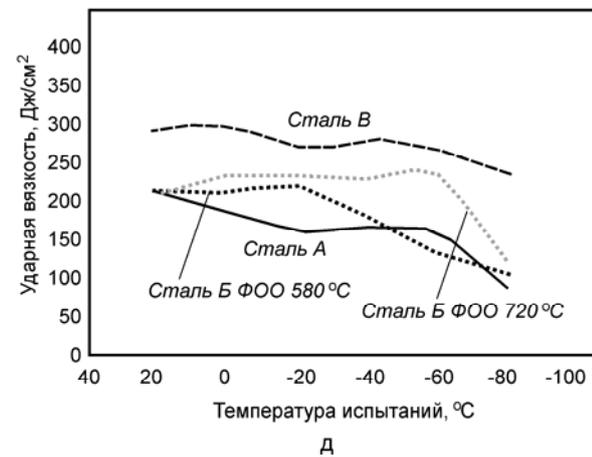
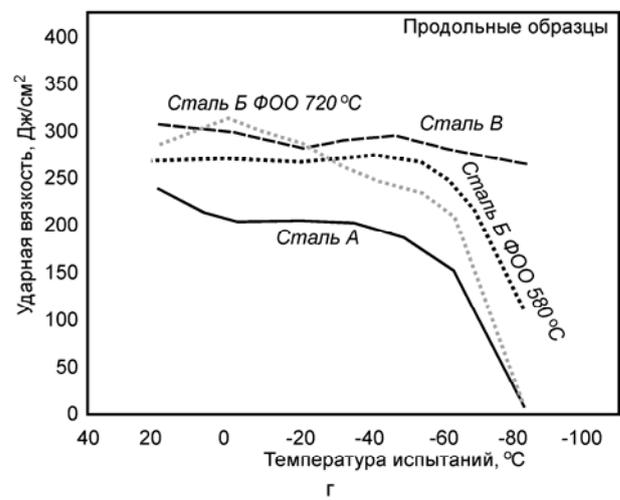
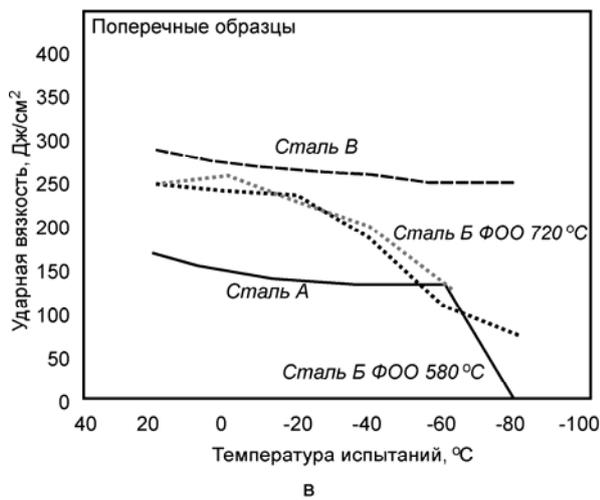
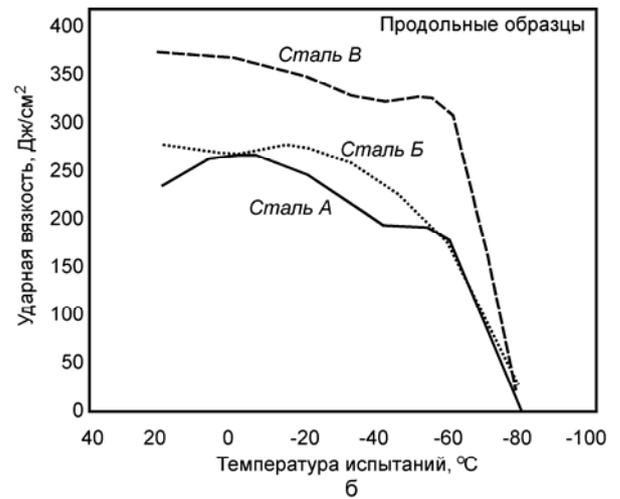
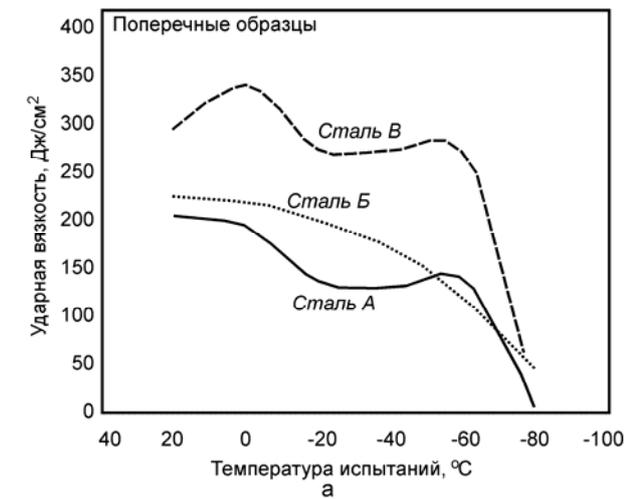


Рис. 1. Зависимости величины ударной вязкости от температуры испытаний в металле рулонного проката (а, б), основном металле (в, г) и сварном соединении (д) готовых труб

В сварном соединении труб типоразмером $\varnothing 426 \times 8$ мм из сталей Б и В после ЛТО и ФОО по линии сплавления и в околошовной зоне сформировалась однородная дисперсная структура, состоящая из полигонального и квазиполигонального феррита 11–14 номера по ГОСТ 5639 и

небольшого количества перлита, ориентированного в виде прерывистых цепочек по линиям течения металла. В сварном шве трубы типоразмера $\varnothing 325 \times 8$ мм из стали А зерно феррита немного крупнее — 10 номера (рис. 4).



Рис. 2. Характерная микроструктура проката (а) и труб (б) из стали А

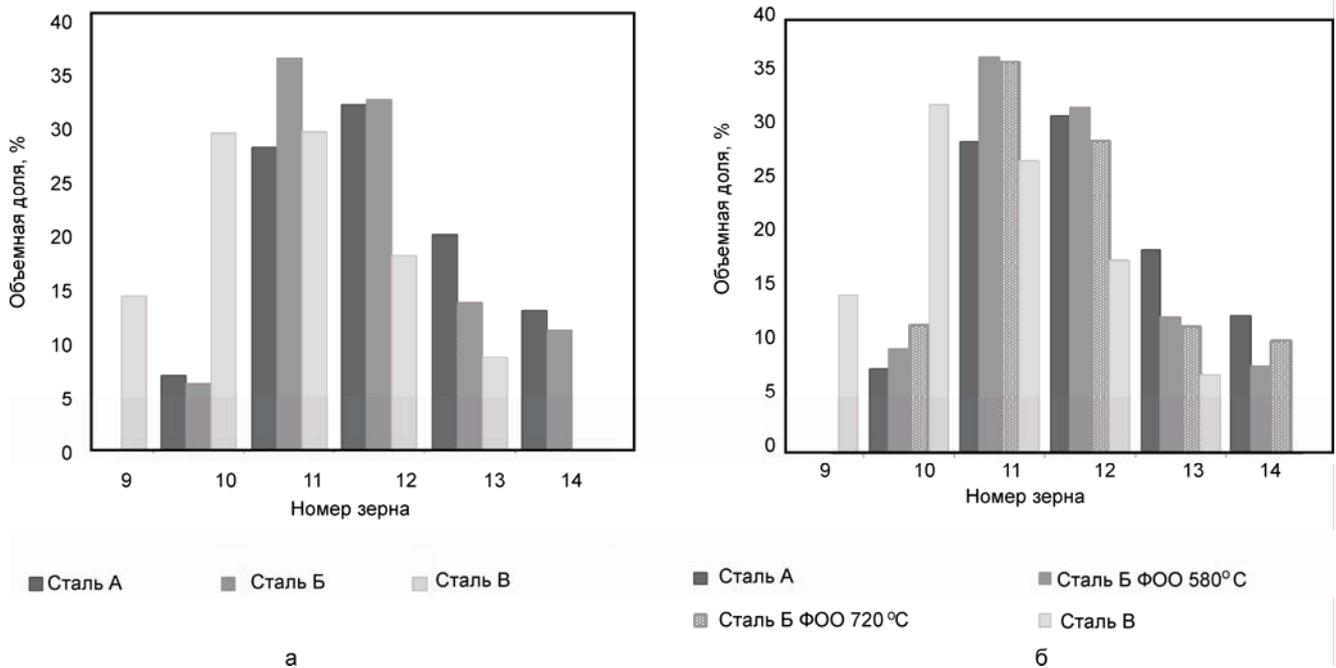


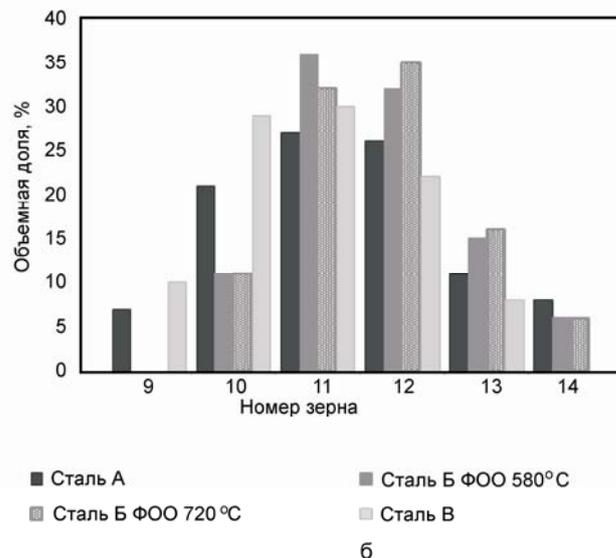
Рис. 3. Гистограмма распределения размера ферритных зерен в ролонном прокате (а) и основном металле труб (б)

Анализ полученных в ходе механических испытаний результатов показал, что прочность сварного соединения находится приблизительно на одном уровне с основным металлом, за исключением сварного шва из ролонного проката стали Б, для которого временное сопротивление разрыву на 40–50 Н/мм² ниже по сравнению с основным металлом (см. табл. 3). Ударная вязкость находится также на уровне значений основного металла, а температура перехода от

вязкого состояния к хрупкому составила –80 °С (см. рис. 1, д). При производстве опытной партии труб типоразмерами Ø325×8, Ø426×8 мм различных классов прочности, изготовленных из ролонного проката системы микролегирования V–N, замечаний по сварке ТВЧ не выявлено, что может свидетельствовать о хорошей свариваемости металла с повышенным содержанием азота.



а



б

Рис. 4. Микроструктура (а) и размер зерна (б), характерные для сварного соединения труб из V–N-содержащей стали

Заключение

1. Определены механические свойства готовых электросварных труб и рулонного проката системы микролегирования V–N толщиной 8 мм различного класса прочности, произведенного по технологии контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением в условиях ЛПК АО ВМЗ.

2. Рулонный прокат системы микролегирования V–N в продольном и поперечном направлениях имеет достаточно близкие значения прочностных и пластических свойств. При различном содержании азота и марганца металл имеет стабильные свойства, соответствующие заданному классу прочности.

3. Установлено, что при трубном переделе в поперечном направлении предел текучести снижается до 40 Н/мм², тогда как в продольном направлении идет повышение предела текучести, что в итоге приводит к повышению отношения $\sigma_{T0,2}/\sigma_B$. Временное сопротивление разрыву практически не меняется в процессе трубного передела для сталей Б, В и увеличивается для стали А.

4. По результатам динамических испытаний на ударный изгиб температура вязкохрупкого пе-

рехода рулонного проката и готовых труб составила –60 °С. Установлено, что при содержании азота 0,018 % и марганца 1,31 % в металле трубы класса прочности К60 (сталь А) снижается относительное удлинение и хладостойкость. Наибольшей ударной вязкостью и пластичностью обладает металл трубы класса прочности К42 (сталь В) при содержании азота 0,012 %.

5. Механические свойства сварного соединения исследуемых труб находятся практически на одном уровне с основным металлом.

6. При исследовании микроструктуры металла проката и металла труб установлено, что видимых структурных изменений в ходе трубного передела не происходит.

7. В результате исследований показано, что рулонный прокат системы микролегирования V–N может применяться в качестве металла для электросварных труб различных классов прочности с требованиями по хладостойкости, производимых в АО ВМЗ, для замены ниобиевых аналогов при более низкой себестоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багмет, О. А. Производство в условиях литейно-прокатного комплекса рулонного проката трубного назначения категории прочности X70 без добавок ниобия [Текст] / О. А. Багмет, И. В. Ганошенко, А. В. Червонный [и др.] // *Металлург.* — 2016. — № 2. — С. 46–53.
2. Багмет, О. А. Влияние температуры отпуска на микроструктуру, тонкую структуру и механические свойства труб категории прочности X70, изготовленных из сталей производства ЛПК с добавками ванадия и азота [Текст] / О. А. Багмет, В. В. Науменко, К. С. Сметанин [и др.] // *Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”.* — 2016. — № 7. — С. 83–94.
3. Науменко, В. В. Микроструктура и свойства рулонного проката класса прочности К56 (X65), микролегированного ванадием и азотом [Текст] / В. В. Науменко, О. А. Багмет // *Проблемы черной металлургии и материаловедения.* — 2017. — № 2. — С. 58–64.
4. Науменко, В. В. Влияние ванадия и азота на формирование структуры и свойств рулонного проката классов прочности К60 (X70) [Текст] / В. В. Науменко, О. А. Багмет // *Сталь.* — 2017. — № 5. — С. 50–55.
5. Zhang, X. New Development of HSLA steels in China [Text] / X. Zhang, C. Yang, C. Shang // *HSLA Steels 2015, Microalloying 2015 & offshore Engineering Steels.* — 2015. — P. 3–15.
6. Yang, C. R&D application of V-N microalloyed steels in China [Text] / C. Yang // *Ibid.* — 2015. — P. 917–930.
7. Матросов, Ю. И. Сталь для магистральных газопроводов [Текст] / Ю. И. Матросов, Д. А. Литвиненко, С. А. Голованенко. — М.: Металлургия, 1989. — 288 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ИЗВЕСТИ ИЗ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

С. П. ЕРОНЬКО¹, д-р техн. наук, ersp@meta.ua; М. Ю. ТКАЧЕВ¹, канд. техн. наук;

Е. Н. СМЕРНОВ², д-р техн. наук; В. А. СКЛЯР², канд. техн. наук

(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,

*² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”)*

Известь, как известно, широко используется в качестве флюса в металлургическом производстве с целью удаления из чугуна и стали серы и фосфора. В настоящее время ее получают путем обжига известняка во вращающихся печах и печах шахтного типа. Благодаря ряду преимуществ в последние годы предпочтение отдают шахтным обжиговым печам. Нормальная суточная производительность шахтных печей, составляющая 145–160 т извести (СаО более 90 %), должна регулироваться в пределах 40–160 т за счет возможности изменения скорости выдачи кускового материала, т. е. работа агрегата в заданном технологическом режиме во многом определяется надежностью и техническими возможностями его системы выгрузки. К главным критериям эффективности функционирования устройств выдачи обожженной извести из печей шахтного типа следует отнести обеспечиваемые ими степень равномерности ее выгрузки и пределы регулирования объема материала, поступающего из агрегата в единицу времени. Наряду с этим разгрузочная система должна также отвечать требованиям надежности и ремонтпригодности, т. е. при ее обслуживании должен быть свободный доступ ко всем элементам, подверженным воздействию высоких технологических нагрузок и требующим периодической замены. Достижимые значения указанных показателей в значительной мере зависят от конструктивных особенностей и принципа действия используемой в печи системы выгрузки.

Указанные устройства условно можно разделить на три основные группы в зависимости от реализуемого в них движения и формы рабочего органа. К первой группе относятся системы выгрузки с возвратно-поступательным движением элементов, осуществляющих перемещение ма-

териала от центра нижней части шахты печи к ее периферии [1–3].

Вторая группа объединяет системы с вращающимся подом, снабженным специальными гребнями, выполненными в форме спирали или криволинейных лопастей, отесняющих при повороте относительно нижней части шахты печи обжигаемый материал в радиальном направлении от ее центральной оси к крайней кромке пода [4, 5].

Отличительной особенностью устройств, отнесенных к третьей группе, является то, что выгрузка материала осуществляется специальным барабаном или комплектом роликов, вращающимися соответственно с помощью индивидуального или группового электромеханического привода [6, 7].

Как показали результаты сопоставительного анализа достоинств и недостатков известных систем выгрузки извести из шахтных обжиговых печей, дальнейшее их совершенствование будет связано с разработкой новых конструктивных решений, направленных на повышение эффективности процесса выдачи материала из агрегата за счет сообщения подвижному столу сложной траектории движения, выбора рационального числа и формы ножей-скребков, а также обоснования энергосиловых параметров привода разгрузочного механизма.

Сотрудниками кафедр “Механическое оборудование заводов черной металлургии” Донецкого национального технического университета и “Металлургия и материаловедение” Старооскольского технологического института им. Угарова с учетом достоинств и недостатков известных систем выдачи обожженной извести было предложено устройство для разгрузки шахтной обжиговой печи, снабженное столом, совер-

шающим плоскопараллельное движение относительно ее корпуса [8].

Конструктивная схема разработанного устройства приведена на рис. 1. Оно включает круглый под 4, установленный с зазором относительно нижней части шахты 16 печи. В нижней опорной поверхности пода выполнены четыре цилиндрических отверстия с запрессованными в них подшипниковыми втулками 2, в которых размещены с возможностью относительного вращения пальцы 3. Каждый палец жестко закреплен соответственно на одном из четырех зубчатых колес 7, горизонтально установленных на вертикальных осях 8. При этом пальцы смещены в одном и том же направлении на одинаковое расстояние от вертикальных осей зубчатых колес 7, имеющих одинаковые размеры и синхронизированных между собой размещенной в центре приводной шестерней 13 посредством конической передачи 11, связанной с мотор-редуктором 5, смонтированным на наружной поверхности приемного бункера 14, примыкающего снизу к шахте печи и снабженного шиберной задвижкой 10. Зубчатые колеса 7 опираются на сферические тела качения 6, набранные в сепараторы и размещенные в кольцевых беговых дорожках, выполненных в несущей раме 12 концентрично с делительными окружностями самих колес. Опорная рама жестко закреплена на несущих стойках 9. Над центральной частью пода в зазоре между ним и нижним торцом шахты 16 находится конический колпак-рассекатель 1, жестко связанный с корпусом печи, к которому изнутри прикреплены под заданным углом атаки ножи 15, равномерно рассредоточенные по периметру над верхней поверхностью пода.

Устройство работает следующим образом. После обжига известки ее куски лежат на колпаке 1 верхней поверхности пода 4, располагаясь по его периметру под углом естественного откоса и полностью заполняя зазор между подом и нижней частью шахты 2 печи. При открытии заслонки 10 и включении мотор-редуктора 5 вращение от его выходного вала через коническую передачу 11 передается шестерне 13, которая приводит в синхронное вращение зубчатые колеса 7 на вертикальных осях 8 в подшипниковых опорах, размещенных в несущей раме 12. Вместе с колесами 7 относительно осей 8 будут совершать вращательное движение вертикальные пальцы 3, расположенные в цилиндрических отверстиях, выполненных в нижней опорной поверхности пода 4. Благодаря тому, что пальцы 3 смещены на одинаковое расстояние в одном на-

правлении относительно осей 8 зубчатых колес 7, синхронно вращающихся в одном направлении, под 4 совершает плоскопараллельное перемещение на телах качения 6 относительно ножей 15 (рис. 2). В этом случае слой известки толщиной, равной зазору между нижней частью шахты 16 и подом 4, по кругу выдвигается из-под выходного кольцевого отверстия шахты к периферии пода в зоны расположения ножей 15, которые при заданном угле атаки осуществляют сброс материала в приемный бункер 14.

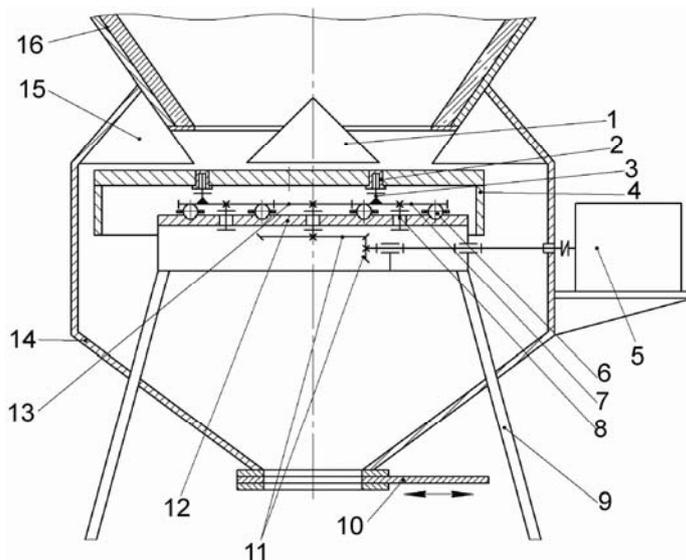


Рис. 1. Конструктивная схема разработанной системы выгрузки известки из шахтной обжиговой печи

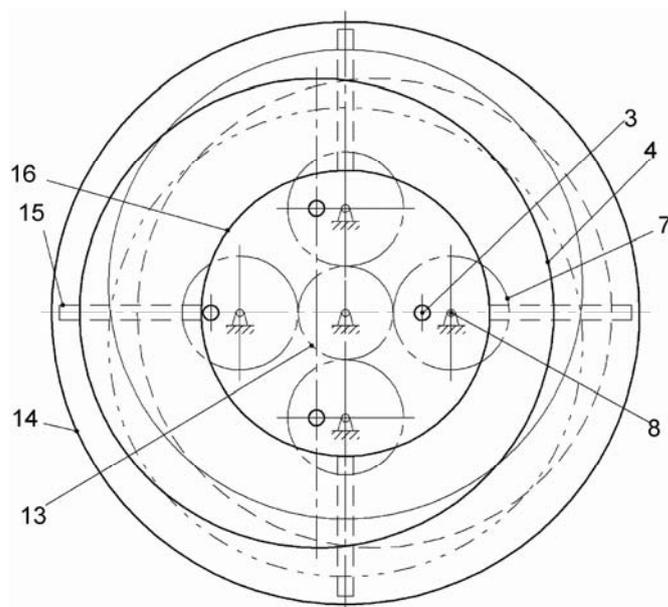


Рис. 2. Положения пода системы относительно выходного отверстия шахты печи в процессе ее разгрузки

Проверку правильности технических решений, заложенных в конструкцию новой системы выгрузки сыпучего материала из шахтной обжиговой печи, выполнили на ее физической модели, изготовленной в масштабе 1:10 (рис. 3) с соблюдением геометрического, кинематического и динамического подобий, а также равенства критерия Ньютона.



Рис. 3. Физическая модель разработанной системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи

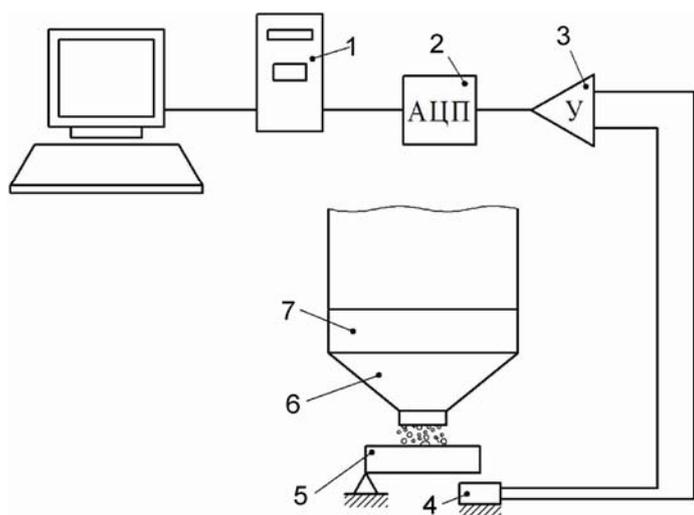


Рис. 4. Схема лабораторного стенда для контроля равномерности схода негашеной комовой извести со стола выгрузочного устройства шахтной известково-обжигательной печи:

- 1 — ПЭВМ; 2 — АЦП; 3 — усилитель; 4 — месдоза;
- 5 — приемная емкость; 6 — приемный бункер;
- 7 — физическая модель выгрузочного устройства

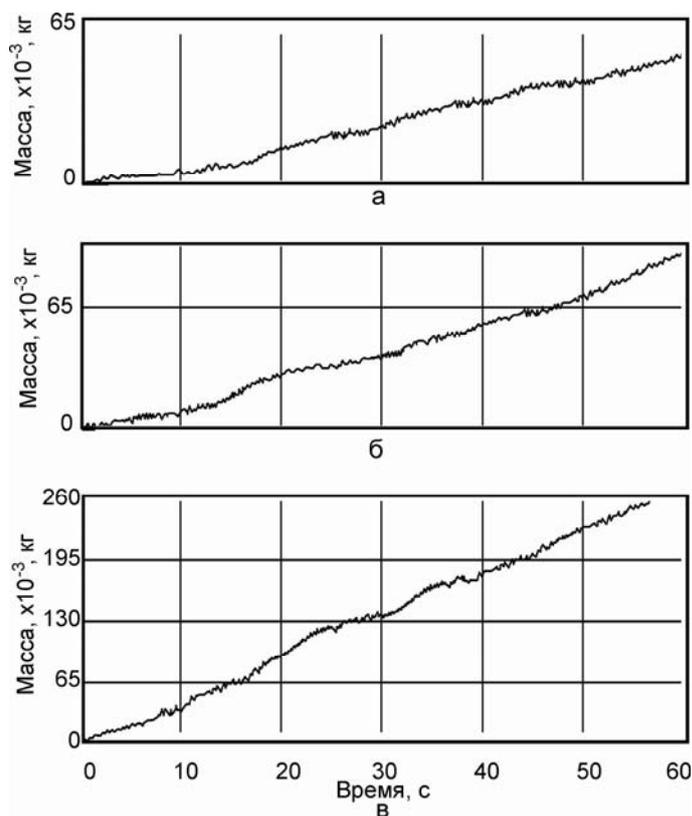


Рис. 5. Зависимость количества выгруженной обожженной извести из модели шахтной печи от времени при различных периодах цикла работы стола: а — 0,8 цикл/мин; б — 1,6 цикл/мин; в — 4,4 цикл/мин

Тестирование физической модели предлагаемой системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи подтвердило работоспособность всех ее структурных элементов. Новая конструкция позволяет обеспечить равномерную выдачу материала по всему периметру и рассредоточенную подачу по поперечному сечению печи охлаждающего воздуха. Предлагаемая конструкция не имеет в своем составе узлов и механизмов, увеличивающих трудоемкость операций при ее обслуживании и ремонтах.

Для количественной оценки влияния закона движения выгрузочного стола шахтной известково-газовой печи на равномерность схода с него насыпного материала (мелкокускового известняка и негашеной комовой извести с размерами рядовых кусков $a_{\max} \approx 1,5-3,5$ мм) провели серию экспериментов с использованием контрольно-измерительного стенда, схема которого приведена на рис. 4. Равномерность ссыпания извести из шахты модели печи в ходе лабораторных исследований контролировали при помощи месдозы 4, подключенной через усилитель 3 к АЦП 2 и ПЭВМ 1. Конструктивно месдоза выполнена в виде металлической

гильзы, снабженной преобразователем, собранным на основе фольговых тензодатчиков, соединенных по мостовой схеме. Во время проводившихся опытов в режиме реального времени контролировали приращение массы насыпного груза, накапливающегося в приемной емкости 5. В качестве примера на рис. 5 приведен вид сигналов, зафиксированных во время контроля массы извести, ссыпавшейся со стола модели печи при различных скоростных режимах его движения.

Полученные результаты измерений свидетельствуют о том, что масса материала, поступившего из выходного отверстия приемного бункера модели печи в приемную емкость, увеличивалась равномерно независимо от задаваемой производительности исследуемой системы выгрузки. Это свидетельствует в пользу ожидаемого положительного эффекта от предложенных

мероприятий по модернизации выгрузочного устройства, в связи с чем данные физического моделирования его работы послужат исходной информацией для начала конструирования модернизированного механизма.

Таким образом, разработанная новая конструкция системы может быть использована при проектировании современных высокопроизводительных шахтных обжиговых печей, имеющих улучшенные рабочие характеристики. Промышленное использование предлагаемой разработки позволит без затруднений достичь равномерной выгрузки кускового материала в соответствии с заданной производительностью печи, а также снизить затраты на ее обслуживание и ремонт благодаря простоте конструкции механизма, обеспечивающего плоскопараллельное перемещение подвижного пода системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монастырев, А. В. Печи для производства извести [Текст]: справочник / А. В. Монастырев, А. В. Александров. — М.: Металлургия, 1979. — 232 с.
2. Монастырев, А. В. Производство извести [Текст]: монография / А. В. Монастырев. — М.: Высшая школа, 1978. — 225 с.
3. Табунщиков, Н. П. Производство извести и сатурационного газа на сахарных заводах [Текст]: монография / Н. П. Табунщиков, Э. Т. Аксенов, Р. Я. Гуревич [и др.]. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 176 с.
4. Pat. 3854635 USA, IPC C 21 B 13/02, C 22 B 1/02, C 21 B 1/14, F 27 B 1/21. Sliding car arrangement for a shaft furnace [Text]; applicant and patentee Maerz Ofenbau / F. Tschinkel. — № 19730424706; claim. 14.12.1973; publ. 17.12.1974.
5. А. с. 613187 СССР, МКИ F 27 B 1/20. Устройство для выгрузки материала из шахтной печи [Текст] / В. Ф. Фомин, А. В. Фомин. — № 2380418/29-33; заявл. 02.07.1976; опубл. 30.06.1978. Бюл. № 24.
6. Пат. 2210029 Российской Федерации, МКИ F 23 G 5/24, F 27 B 1/21. Устройство выгрузки реактора шахтного типа для переработки отходов [Текст]; заявитель и патентообладатель ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» / Ю. В. Петров, Н. П. Рябихин, Н. И. Буянов [и др.]. — № 2000112334/03; заявл. 18.05.2000; опубл. 10.08.2003. Бюл. № 22.
7. Пат. 3903 Украины, МКИ F 27 B 1/20. Устройство для разгрузки шахтной известково-газовой печи [Текст]; заявитель и патентообладатель ООО «Фирма «ТМА» / В. Д. Науменко, В. Н. Кухар, И. В. Науменко [и др.]. — № 20040402933; заявл. 13.04.2004; опубл. 15.12.2004. Бюл. № 12.
8. Пат. 2623402 С1 Российской Федерации, МПК F 27 B 1/20. Устройство для разгрузки шахтной известково-газовой печи [Текст] / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев [и др.]. — № 2016119781; заявл. 23.05.2016; опубл. 27.06.2017. Бюл. № 18.

РАЗРАБОТКА НОВОГО СОСТАВА СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО И УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

А. В. КОЛОКОЛЬЦЕВ, д-р техн. наук; М. Г. ПОТАПОВ, канд. техн. наук; А. В. МИХАЙЛОВ, М. В. ПОТАПОВА, канд. техн. наук, marina_potapova8@mail.ru; И. В. МАКАРОВА, канд. техн. наук (ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»)

Основные процессы добычи, обогащения, переработки руд связаны с условиями непрерывного контакта рабочих частей добывающего и перерабатывающего оборудования с высокоабразивным материалом. Горнорудные материалы становятся беднее, возрастают объемы их добычи и переработки, что обуславливает необходимость замены деталей дробящего оборудования, находящихся в неудовлетворительном состоянии, на детали из новых сплавов, обеспечивающих совокупность высоких специальных свойств и эксплуатационную приемлемость.

Подобная тенденция наблюдается и с деталями штампов. В массовом и крупносерийном производстве деталей стойкость обычных стальных и чугуновых штампов оказывается недостаточной, что требует изготовления большого числа штампов-дублеров.

В связи с этим разработка нового экономнолегированного состава чугуна, отвечающего современным требованиям по эксплуатационной стойкости, является актуальной задачей.

Отливки деталей из нового состава должны иметь необходимый комплекс механических и специальных свойств. В то же время для экономической релевантности желательно, чтобы новый состав не включал дефицитные и дорогостоящие легирующие элементы, такие как молибден, никель, вольфрам и др.

Наиболее широкое распространение для данных отливок деталей получили марганцовистые чугуны с содержанием марганца от 2 до 8 %.

Одним из важнейших факторов, определяющих сопротивление чугунов изнашиванию, является их структурное состояние, а также взаимное расположение, количественное соотношение и характер связи отдельных структурных составляющих. Микроструктура марганцовистых чугунов меняется в зависимости от содержания марганца, так как он обладает способностью увеличивать количество связанного углерода. При содержании марганца 2–3 % структура чугуна состоит из продуктов перлитного распада, карби-

дов цементитного типа $(Fe, Mn)_3C$ и отдельных графитовых включений (если содержание углерода больше 3,2 %) [1]. Марганец при содержании 4–8 % стабилизирует аустенит, подавляя его распад по перлитному механизму при охлаждении отливки, и снижает точку M_{II} (температуру начала мартенситного превращения). В результате мартенситное превращение развивается не до конца, и структура металлической основы становится аустенитно-мартенситной с включением первичных карбидов и эвтектической аустенитнокарбидной смеси [2]. Литературно-патентный поиск и оценка влияния легирующих элементов на износостойкость металлов показали, что наиболее перспективными элементами являются титан, хром, кобальт, никель, молибден, вольфрам, марганец, бор. Кремний, ванадий, цирконий, ниобий также могут применяться благодаря их специфическому поведению при легировании твердого раствора.

Значительное улучшение ударно-абразивной износостойкости марганцовистого чугуна можно обеспечить регулированием морфологии, размером и количеством эвтектической карбидной фазы. Поэтому для марганцовистых сплавов с высокой износостойкостью карбидная фаза должна располагаться в матрице в виде разделенных включений [3]. Для определения рационального соотношения легирующих элементов в разрабатываемом сплаве был проведен патентный поиск составов чугунов с наиболее значимыми для износостойкости легирующими компонентами. Благодаря полученным данным были спланированы пробные эксперименты с широкими пределами процентного соотношения компонентов, что позволило исключить возможность пропустить состав с высокими характеристиками. Для всех пробных образцов были проведены испытания на износостойкость, на основании которых выявили наиболее значимый состав чугуна, %: 2,5–3,0 C; 11,0–11,7 Mn; 1,0 Nb; 0,7 Si; 0,2 Cr; 0,01 В.

Для разработки нового состава абразивно-ударного износостойкого чугуна был спланирован и проведен полнофакторный эксперимент вида ПФЭ 2³. Было установлено следующее содержание элементов, %: углерод X1 — 2,5; 3,0; марганец X2 — 11,0; 11,7; ниобий X3 — 0,6; 1,0. Массовая доля кремния, хрома и бора в опытных чугунах находилась в пределах 0,7–0,9; 0,20–0,24; 0,008–0,010 % соответственно.

Выплавку опытных образцов осуществляли в индукционной тигельной печи с основной футеровкой. Из полученного чугуна отливали образцы стандартных размеров в формы с различной теплоаккумулирующей способностью. Химический состав образцов определяли спектральным методом на оптическом эмиссионном спектрометре SPECTROMAXx фирмы SPECTRO, Германия. Сравнительные испытания на износо-

стойкость сплавов при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы проводили на лабораторной установке по методике, регламентированной ГОСТ 23.208–79. Относительную износостойкость определяли по отношению потери массы эталонного образца к потере массы исследуемого образца. Испытания на ударно-абразивную износостойкость проводили на лабораторной установке согласно ГОСТ 23.207–79. Твердость образцов по Роквеллу определяли на твердомере Ernst AT130 DR по ГОСТ 9013–59 вдавливанием алмазного конуса, имеющего угол при вершине 120 град. с нагрузкой 1471 Н.

Сравнительные испытания образцов сплавов на ударную износостойкость и износостойкость трением о нежестко закрепленные частицы выполнили в лабораторных специальных установках (см. таблицу).

МЕХАНИЧЕСКИЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ИССЛЕДУЕМЫХ СПЛАВОВ

Номер сплава	Относительная износостойкость Ки, ед.		Относительная износостойкость Ки _{удар} , ед.		Твердость HRC	
	с холодильником	сухая	с холодильником	сухая	с холодильником	сухая
1	3,36	4,53	1,49	1,40	49	51
2	3,37	4,44	1,64	1,87	28	33
3	3,67	3,70	1,39	3,07	37	34
4	3,98	3,36	1,47	1,79	32	38
5	5,53	5,61	1,87	6,07	41	41
6	3,01	4,12	2,21	3,62	45	37
7	4,12	2,52	2,31	2,54	48	45
8	2,66	3,07	0,73	1,90	38	42
9	2,40	3,11	2,63	1,14	43	37

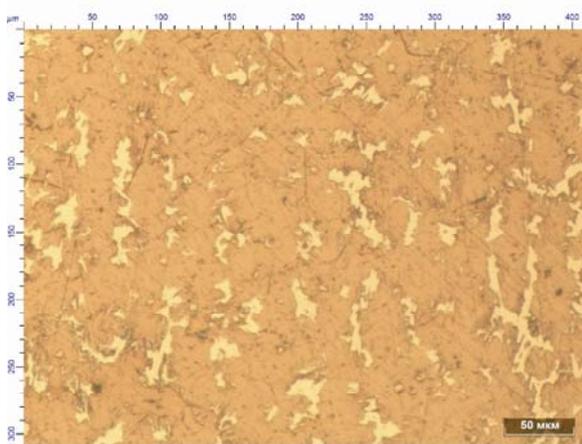
Наилучший результат по ударной и истирающей износостойкости получен у сплава № 5 в сухой песчано-глинистой форме, у которого значение твердости (HRC = 41) близко к среднему по всем опытным сплавам. Значение износостойкости о нежестко закрепленные частицы по сравнению с максимальным снижалось на 1–2 ед.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что увеличение скорости кристаллизации не приводит к росту износостойкости для всех исследованных составов. Это обусловливается тем, что мартенситное превращение развивается не до конца, и структура металлической основы становится аустенитно-мартенситной с включением первичных карбидов и эвтектической аустенитно-карбидной смеси.

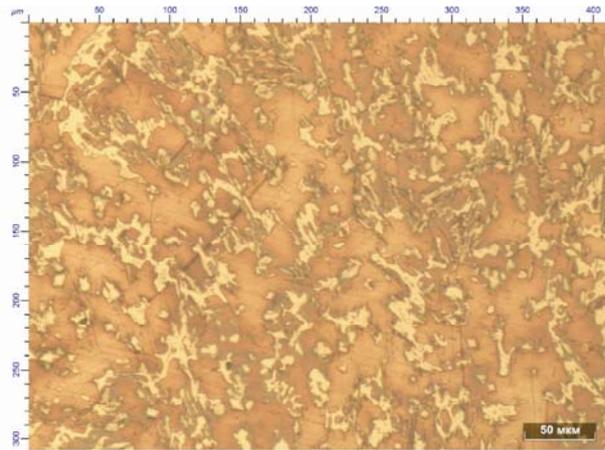
Износостойкость чугунов при прочих равных условиях (например, структурных) определяется не только исходным фазовым составом, но и ки-

нетикой фазовых превращений, а также количеством образующихся твердых фаз в ходе изнашивания.

Повышение ударно-абразивной износостойкости с увеличением содержания марганца обусловлено, с одной стороны, увеличением твердости легированного цементита [4], с другой стороны, увеличением содержания метастабильного аустенита в металлической основе, который по сравнению с мартенситом лучше удерживает карбидные частицы [5–10]. Кроме того, в процессе ударно-абразивного воздействия в поверхностном слое метастабильный аустенит претерпевает фазовые превращения, связанные с образованием твердых фаз — деформации мартенсита и карбидов, выделяющихся из аустенита и мартенсита. Поэтому прирост количества мартенсита деформации в поверхностном слое образцов составляет 20–48 % (см. рисунок).



а



б

Микроструктура нового состава до (а) и после (б) ударно-абразивного воздействия (x200)

Увеличение износостойкости после ударно-абразивного изнашивания чугунов с метастабильным аустенитом можно объяснить с позиций энергетической теории [10–12]. Реакция металла на воздействие абразива зависит от структурного состояния сплавов и может состоять из процессов упрочнения, фазового превращения, разрушения межзатомных связей и других явлений. На все эти процессы расходуется часть энергии, сообщаемой металлу абразивными частицами. Разрушение наступает в тот момент, когда объем металла поглощает энергию предельной величины, определяемую силами межзатомной связи, а также энергоемкостью структурных и фазовых превращений, способствующих процессу взаимодействия с абразивом [7]. Процесс собственно мартенситных превращений при изнашивании играет существенную роль в повышении энергоемкости и износостойкости сплавов, не требуя больших затрат энергии. Образование мартенсита деформации в узкой приповерхностной зоне приводит к появлению внутренних напряжений сжатия в объеме металла, охваченном мартенситным превращением. На их

преодоление при последующем воздействии требуется дополнительный расход энергии, в результате чего на разрушение остается меньше энергии внешнего воздействия абразива. Для обеспечения высокой износостойкости необходимо получить не только оптимальную исходную структуру, но и наиболее эффективную кинетику фазовых превращений в поверхностных слоях чугунов в процессе изнашивания.

При обработке результатов эксперимента получены адекватные математические зависимости свойств чугуна от химического состава типа $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$.

Анализ полученных зависимостей и последующая оптимизация позволили рекомендовать для деталей специального назначения следующий состав чугуна, %: 2,8–3,2 С; 11,0–12,0 Мн; 0,5–1,0 Сг; 0,4–0,6 Nb; 0,008–0,010 В; 0,4–0,6 Si.

Чугун предложенного состава имеет следующие свойства: $\sigma_b = 650\text{--}700$ МПа, HRC = 42, Ки = 4–5 ед., Ки_{удар} = 5–6 ед. и превосходит известные марганцовистые чугуны по эксплуатационной стойкости в 1,5 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чейлях, А. П. Экономнолегированные износостойкие марганцовистые чугуны [Текст] / А. П. Чейлях, И. М. Олейник // *Захист металургійних машин від поломок: міжвуз. темат. зб. наук. пр.* — Мариуполь: ПДТУ, 2008. — Вип. 10. — С. 196–200.
2. Чейлях, А. П. Износостойкие чугуны с метастабильным аустенитом [Текст] / А. П. Чейлях, И. М. Олейник, Е. Б. Локшина [и др.] // *Металл и литье Украины.* — 1995. — № 1. — С. 30–35.
3. Бобырь, С. В. Применение марганцовистых чугунов для изготовления износостойких деталей металлургического оборудования [Текст] / С. В. Бобырь, Г. В. Левченко, А. А. Петриченко [и др.] // *Там же.* — 2006. — № 5. — С. 40–42.
4. Колокольцев, В. М. Исследование влияния характеристик абразивов и условий нагружения на износостойкость литых сплавов системы Cu–Ni–Mn [Текст] / В. М. Колокольцев, А. Н. Емелюшин, Е. В. Синицкий, М. Г. Потапов // *В сб.: Обработка сплошных и слоистых материалов.* — Магнитогорск, 1999. — С. 28–32.

5. Колокольцев, В. М. Влияние легирования и технологических факторов на износостойкость белых чугунов [Текст] / В. М. Колокольцев, А. Н. Емелюшин, Е. В. Женин [и др.] // Теория и технология литейных сплавов: Тез. докладов научно-технич. конф. — 1999. — С. 99–100.
6. Потапов, М. Г. Новые сплавы под литой инструмент [Текст] / М. Г. Потапов, П. А. Молочков, Л. Б. Долгополова // Литейные процессы: Межрегион. сборник научных трудов. — Магнитогорск: Министерство образования РФ, 2010. — С. 78–86.
7. Слободинский, И. Н. Износостойкие белые ванадиевые чугуны [Текст] / И. Н. Слободинский, А. Ф. Софрошенков // Литейное производство. — 1975. — № 9. — С. 10, 11.
8. Гарбер, М. Е. Влияние структуры на износостойкость белых чугунов [Текст] / М. Е. Гарбер, Л. И. Леви, Е. В. Рожкова [и др.] // МиТОМ. — 1981. — № 1. — С. 48–51.
9. Комаров, О. С. Механизм упрочнения поверхностных слоев при ударно-абразивном изнашивании высокохромистого чугуна [Текст] / О. С. Комаров, В. В. Ивашкин, Н. И. Урбанович // Там же. — 1990. — № 4. — С. 35–37.
10. Попов, В. С. Повышение износостойкости сплавов со структурой метастабильного аустенита при абразивном изнашивании [Текст] / В. С. Попов, Н. Н. Брыков, Г. А. Пугачев // Физико-химическая обработка материалов. — 1979. — № 5. — С. 97–100.
11. Попов, В. С. Износостойкость пресс-форм огнеупорного производства [Текст] / В. С. Попов, Н. Н. Брыков, Н. С. Дмитриченко. — М.: Металлургия, 1971. — 158 с.
12. Малинов, Л. С. Использование принципа получения метастабильного аустенита, регулирования его количества и стабильности при разработке экономнолегированных сплавов и упрочняющих обработок [Текст] / Л. С. Малинов // МиТОМ. — 1996. — № 2. — С. 35–39.

УДК 669.02/09

ОСОБЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

*В. А. СИДОРОВ, д-р техн. наук, sidorov_va@ukr.net
(ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”)*

Решение задач диагностирования металлургических машин тесно связано с развитием средств технической диагностики [1]. Появление портативных приборов измерения вибрации и контроля состояния подшипников в 80-х годах прошлого столетия позволило определить задачи и оснастить специалистов цеховых групп диагностирования. Возможности анализаторов вибрации, тепловизионной аппаратуры привели к формированию служб технического диагностирования предприятий, решению вопросов контроля состояния, балансировки роторов энергетических машин. Появилась возможность перейти к диагностированию металлургических машин с учетом особенностей конструкции, эксплуатации и режимов измерений. В настоящее время все более широко происходит внедрение стационарных систем вибрационного контроля металлургических машин. Об этом свидетельствуют работы в данном направлении, появившиеся за последние годы.

В работах [2, 3] приведены результаты исследований переходных процессов при эксплуатации прокатных клетей, влияния технологических

и конструктивных параметров на техническое состояние и приведено обоснование структуры опытно-промышленной системы диагностирования. Работы [4–6] посвящены вопросам выбора диагностических параметров стационарной системы и практике контроля технического состояния оборудования прокатного стана. Единый методологический подход, изложенный в работах [7–9], позволил реализовать непрерывный контроль прокатного и доменного оборудования.

Часто для диагностирования металлургических машин используют методы, хорошо себя зарекомендовавшие при контроле энергетических машин. Такая же аналогия прослеживается и в построении структуры и разработке алгоритма работы стационарных систем контроля вибрационных параметров металлургических машин. Существующие отличия в режимах эксплуатации, конструкции, технического обслуживания и ремонта требуют учета специфики металлургических машин. При однотипной структуре основные различия заключаются в алгоритме анализа проводимых измерений и в первую очередь при этом необходимо учитывать:

- места расположения и установки датчиков вибрации;
- режимы проводимых измерений и контролируемые параметры;
- нормативы допустимых и предельных значений параметров контроля;

- построение алгоритмов распознавания и принятия решений;
- эффективность использования стационарной системы.

Данные вопросы будут последовательно рассмотрены в последующем материале, что и составляет основную цель статьи.

Места расположения и установка датчиков вибрации

ГОСТ Р ИСО 10816-1-97 регламентирует проведение измерений вибрации корпусов подшипников в трех взаимно перпендикулярных

направлениях: вертикальном, горизонтальном и осевом (рис. 1, а).

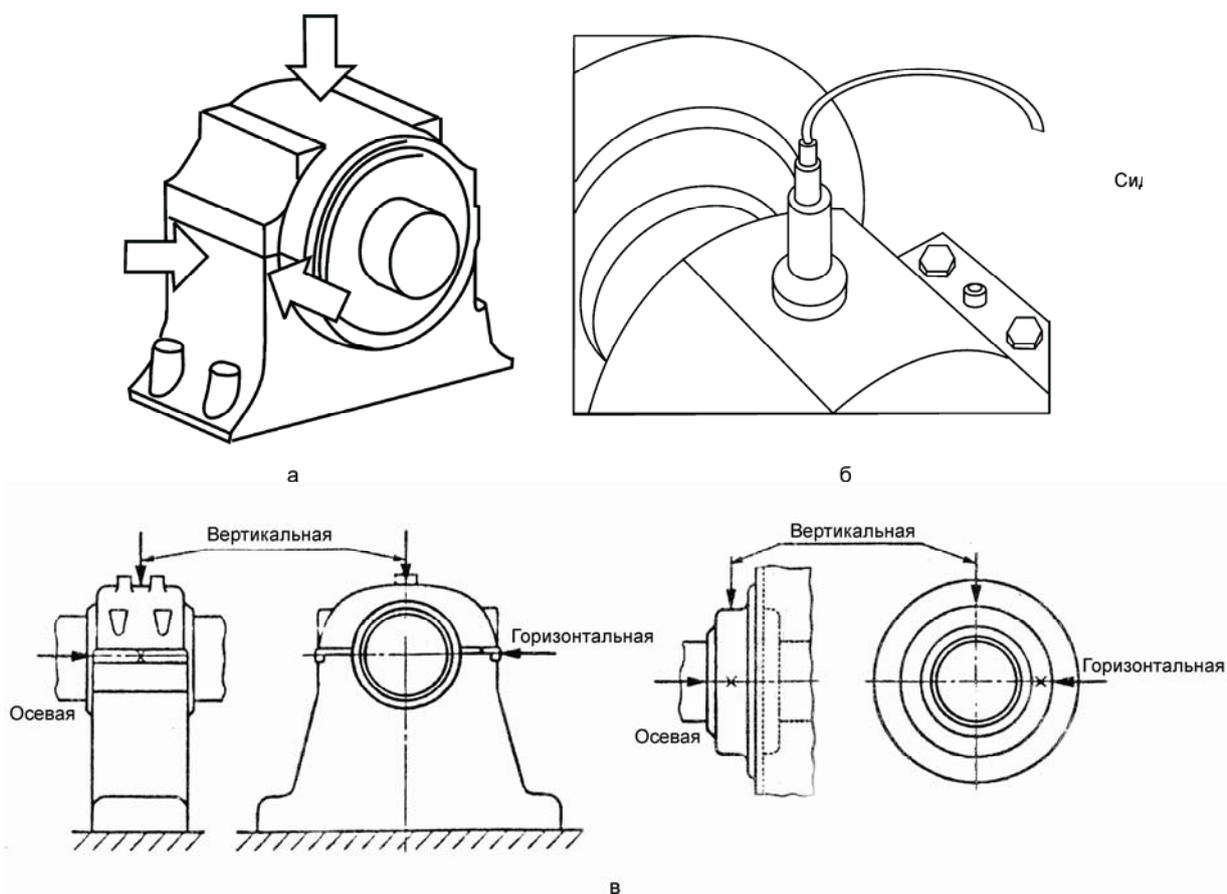


Рис. 1. Места измерения вибрации по ГОСТ Р ИСО 10816-1-97

Измерение общего уровня вибрации в вертикальном направлении проводится в наивысшей точке корпуса (см. рис. 1, б). Горизонтальная и осевая составляющие измеряются на уровне разъема крышки подшипника или горизонтальной плоскости оси вращения (см. рис. 1, в). Для энергетических машин это вполне приемлемое требование, учитывая массивность вынесенных подшипниковых опор.

Валы металлургических машин могут занимать горизонтальное, вертикальное или наклонное положение, быть консольными или межопор-

ными (например, в конструкции комбинированных редукторов непрерывных прокатных станов). Подшипниковые опоры, расположенные в жестком сварном или литом корпусе, могут быть выносными, внешними и внутренними (рис. 2). В этом случае следует воспользоваться рекомендацией стандарта ГОСТ Р ИСО 10816-1-97: расположение точек измерения для машин конкретных типов должно быть приведено в соответствующих стандартах на машины этих типов. Если эти стандарты отсутствуют, то располагать датчики следует с учетом направления действующих

сил. Цитата из ГОСТ Р ИСО 10816-1-97: “точки измерения вибрации для оценки состояния машин и механизмов выбираются на корпусах подшипников или других элементах конструкции,

которые в максимальной степени реагируют на динамические силы и характеризуют общее вибрационное состояние машин”.

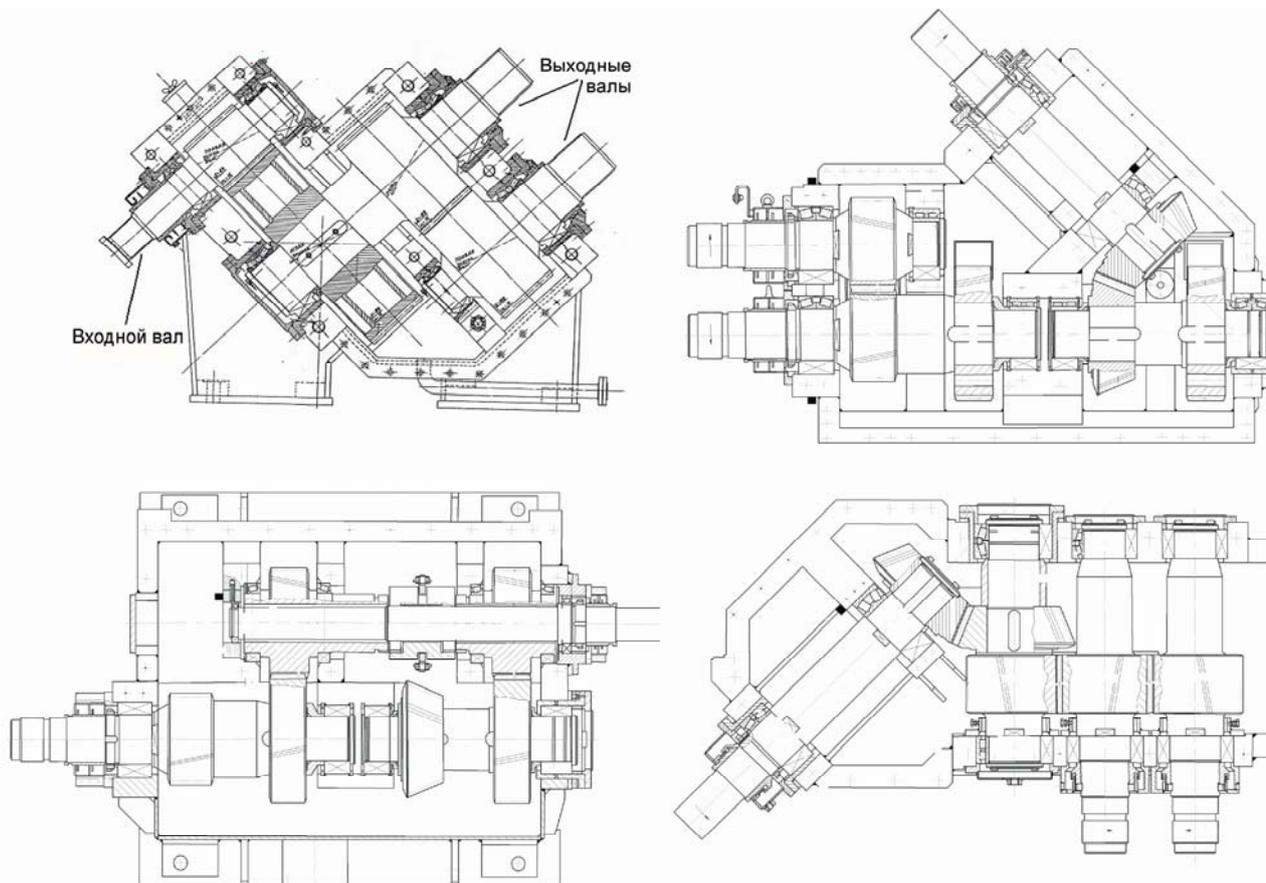


Рис. 2. Схемы комбинированных редукторов приводов прокатных клетей

В некоторых случаях направление вращения изменяется при реверсе двигателя (например, во время прокатки или при работе скиповой лебедки). Это приводит к изменению направления действующих сил и требует проведения двух последовательных измерений. Это позволяет по разнице значений вибрационных параметров оценить наличие зазоров в узле подшипника, в частности ослабление посадки.

Жесткий корпус редуктора выравнивает значения виброскорости в частотном диапазоне 10–1000 Гц, измеренные в трех направлениях по входному, промежуточному и выходному (выходным) валам. Более информативным для условий металлургии является измерение виброускорения в среднечастотном диапазоне 10–5000 (7000) Гц. При этом несколько изменяются правила установки датчиков.

Среднечастотный диапазон виброускорения позволяет одновременно локализовать источник вибрационных колебаний и сократить число датчиков благодаря различиям в частотном диапа-

зоне информативных частот контролируемых элементов. Высокочастотные колебания быстро затухают и требуют установки датчика на каждый подшипник, при этом допускается один материальный разрыв — между наружным кольцом подшипника и корпусом. При измерении ударных импульсов датчик устанавливается в районе эмиссионного окна под углом 90 град. к корпусу подшипника, допускаемый угол отклонения — не более 5 град.

В месте расположения датчика суммируются сигналы от различных элементов, приходящие с различной степенью ослабления. Оценка степени затухания для конкретного расположения датчика позволяет определить истинные параметры виброускорения в зоне контакта зубчатых передач и подшипников качения. Для редуктора возможно выбрать несколько наиболее информативных точек контроля. Это снижает общее число датчиков и повышает безотказность системы вибрационного контроля в целом. Одновременно по редуктору должны быть известны

значения виброскорости в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях.

Установка датчиков на промежуточных элементах (бобышках, кубиках и др.), совмещающих два направления измерения вибрации, снижает информативность системы вибрационного контроля (рис. 3). Расстояние от места установки датчика до подшипника должно быть кратчай-

шим, без появления дополнительных контактных поверхностей различных деталей на пути распространения колебаний. Часто кроме промежуточного элемента появляется и источник неисправности — ослабление крепления промежуточного элемента. При измерении виброускорения основным является радиальное направление относительно узла подшипника.

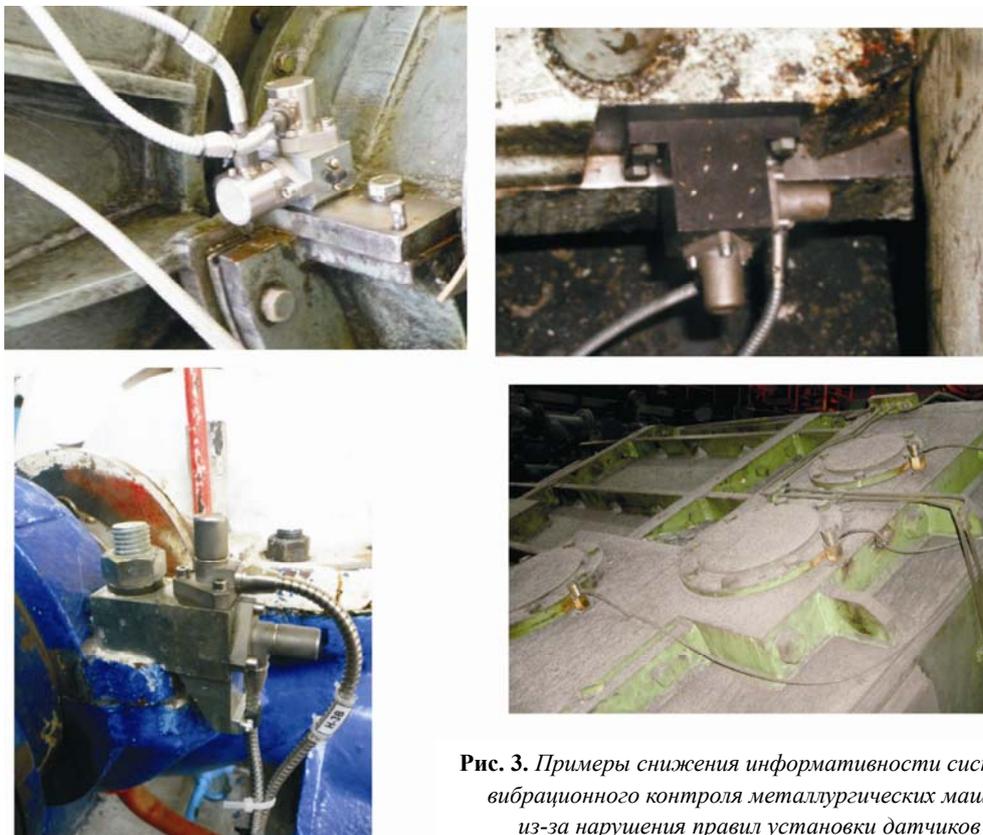


Рис. 3. Примеры снижения информативности системы вибрационного контроля металлургических машин из-за нарушения правил установки датчиков

Требования к установке датчиков вибрации достаточно жесткие относительно: неперпендикулярности оси резьбового соединения к плоскости крепления преобразователя, шероховатости поверхности, неплоскостности поверхности крепления, усилия затяжки. Этим требованиям соответствует использование промежуточных элементов. При этом должны соблюдаться требования к монтажу и расположению промежуточных элементов. Крепление вибрационных датчиков регламентируется ГОСТ Р ИСО 5348–99 и рекомендациями изготовителей датчиков.

Металлургические машины являются восстанавливаемыми техническими системами. Текущее техническое обслуживание, еженедельные ремонты, ежегодный капитальный ремонт — основные факторы риска повреждения датчиков и кабелей на месте установки. Обязательным требованием является расположение соединительных кабелей в металлических трубах, установка датчиков преимущественно на корпусе, а не на крышке, наличие специалистов, отсоединяющих

и контролирующих состояние датчиков во время проведения ремонтов.

Соединительные кабели не должны подвергаться воздействию вибрационных напряжений. Механические колебания приводят к появлению паразитных электрических сигналов. Поэтому кабели следует надежно закрепить на вибрирующей поверхности в точке, находящейся вблизи от акселерометра. Силуминовые разъемы подвергаются коррозии вследствие взаимодействия сплава алюминия с приборным разъемом из нержавеющей стали при воздействии промышленной воды. Влияние электрических наводок на кабели датчиков вибрации приводит к появлению составляющих на частотах электрической сети, частотах тиристорного преобразователя или частотах электрических наводок. Электрические, магнитные и электромагнитные поля также оказывают влияние на результат измерений.

Установка вибрационных датчиков стационарной системы должна позволять фиксировать по-

вреждения недоступных внутренних подшипниковых узлов. В противном случае повреждения этих узлов проявятся на поздних стадиях, при больших уровнях вибрации, которая будет передаваться через элементы оборудования к другим подшипниковым узлам, приводя к дополнительным повреждениям.

Оптимальным решением представляется переход от датчиков, навешиваемых на оборудование, к датчикам, встраиваемым в корпусные

детали металлургических машин. Надежность беспроводной связи между датчиками и коммутирующим блоком в металлургических цехах, насыщенных электрическим оборудованием, всегда будет причиной возможных сбоев. Периодически датчики, находящиеся в составе стационарной системы, необходимо проверять. Демонтаж датчика после года эксплуатации в условиях прокатного цеха — задача с неоднозначным решением.

Режимы проводимых измерений и контролируемые параметры

В идеальном случае стационарная система непрерывно отслеживает сигналы, поступающие от датчиков. Фактически скорость передачи информации ограничена, и датчики приходится опрашивать последовательно или параллельно в пределах промежуточного блока связи. Рост числа датчиков увеличивает период опроса, и стационарные системы вибрационного контроля перестают быть системами непрерывного контроля. Для длительного режима работы, постепенного накопления повреждений и ограниченного числа датчиков такой подход может быть вполне приемлемым решением. Но в таком случае пропадает возможность фиксации однократного механического удара в спектре вибрации.

Металлургические машины работают в повторно-кратковременном режиме работы. Число датчиков для непрерывного прокатного стана может составить несколько сотен. В этом случае необходимо точно определить момент проведения измерений, о чем утверждается в работе [5], и порядок опроса датчиков.

Цикл работы металлургической машины в самом общем случае включает периоды разгона, установившегося движения и остановки (рис. 4). На каждом этапе значения виброскорости будут соответствовать фактическому скоростному режиму. Случайно измеренное значение без привязки к циклу работы не позволит установить фактическое состояние механизма.

Режим работы прокатного стана характеризуется периодической прокаткой слитка. Поэтому необходима информация о двух основных режимах — рабочего и холостого хода, соответственно время проведения измерения должно быть согласовано с положением слитка в клет

(рис. 5). Соотношение вибрации холостого и рабочего хода — весьма информативный диагностический параметр. Реакция прокатной клетки на вход и выход слитка различна и определяется на временных диаграммах виброускорения. Стабильность и форма временного сигнала виброускорения имеют наибольшую информативность для раннего диагностирования. Параметры вибрации зависят от скорости и усилия прокатки, определяемых калибровкой клетки, и технического состояния механизма.

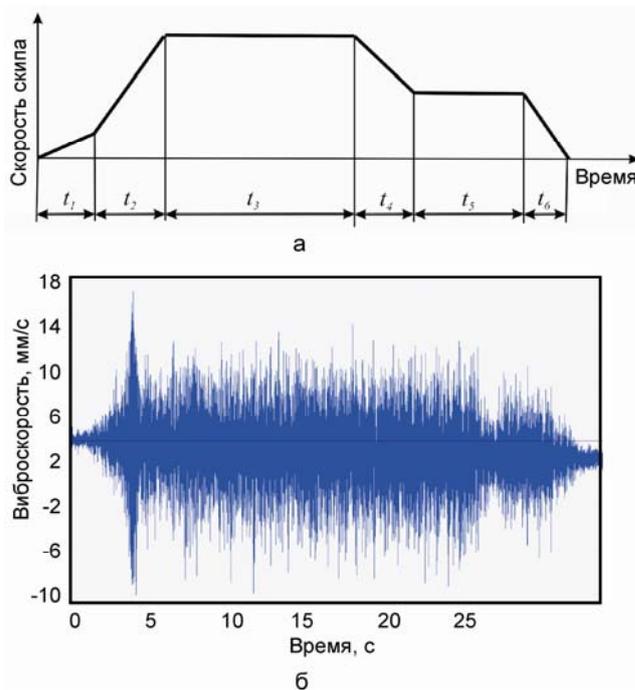


Рис. 4. Циклограмма работы скипового подъемника (а) и виброскорость подшипникового узла скиповой лебедки (б)

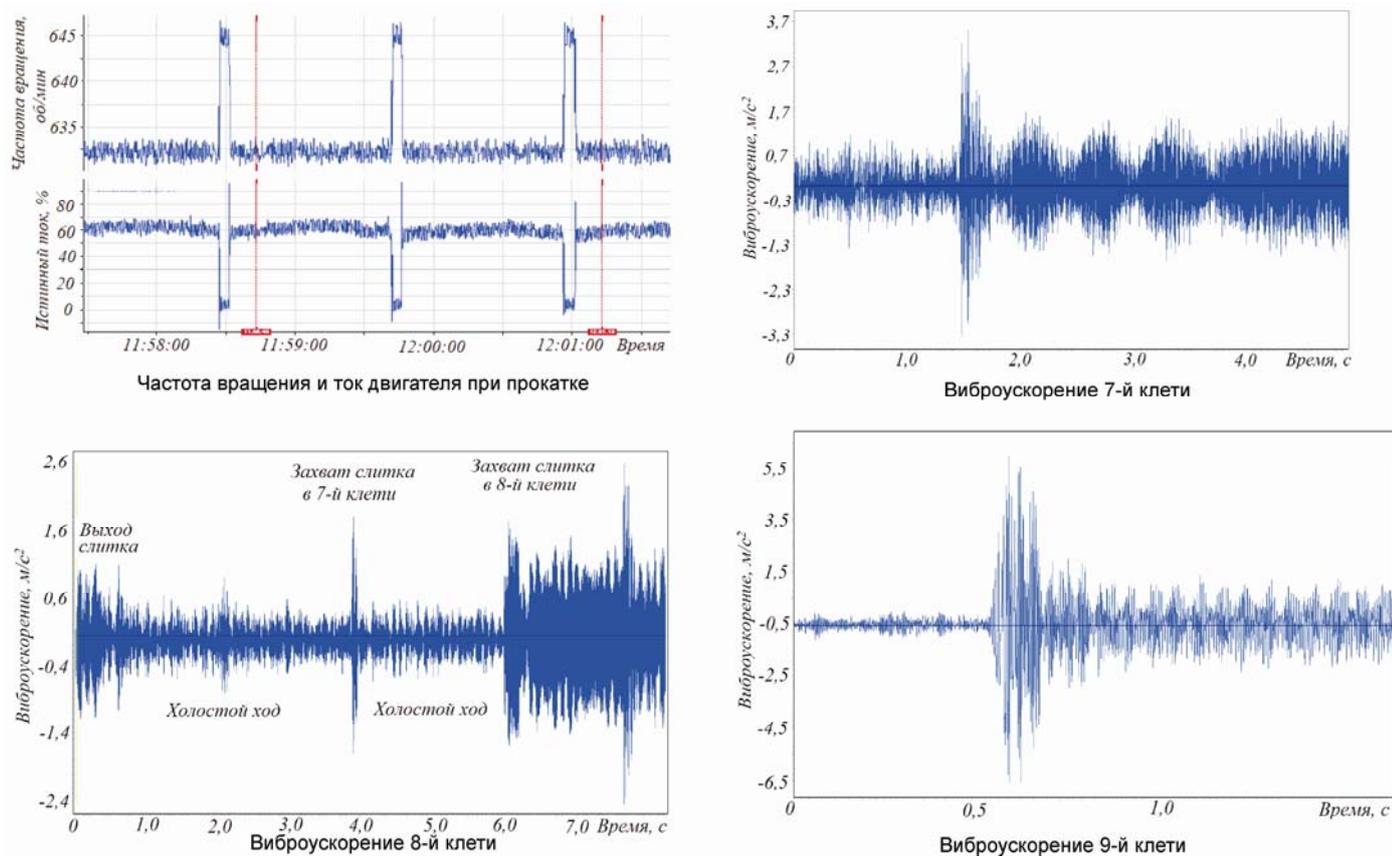


Рис. 5. Энергетические и вибрационные характеристики прокатных клетей

Следовательно, если проводить опрос датчиков во время прокатки последовательно, то каждый датчик покажет значения, соответствующие различным режимам работы (см. рис. 5). Следующий цикл опроса может сместиться по времени и значения изменятся. Нестабильность вибрационных показателей может быть воспринята как предотказное состояние. Поэтому последовательность опроса датчиков в пределах одной клетки (одного промежуточного блока связи) должна быть параллельной, а последовательность опроса промежуточных блоков связи может быть последовательной, если данные не используются в системе регулирования.

Нормативы допустимых и предельных значений параметров контроля

При определении допустимых значений виброскорости традиционно используют рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО 10816-1-97, регламентирующего зоны состояний в зависимости от мощности привода, податливости фундаментов относительно направления измерения вибрации. Эти рекомендации используются для оценки технического состояния паровых турбин, генера-

торов, компрессоров, вентиляторов, дымососов, эксгаустеров, насосов и др. Характерной особенностью данных механизмов является частота вращения в пределах 1000–3000 об/мин и более, масса корпусных деталей в 2–3 раза превышает массу вращающегося ротора, обладающего большой кинетической энергией.

Массивные корпусные детали и низкая частота вращения (100–300 об/мин) наиболее характерны для металлургических машин. В некоторых случаях частота вращения может быть значительно выше 3000 об/мин, но масса этих валов в несколько десятков раз меньше массы корпусных деталей. Разрушение таких узлов будет происходить при более низких значениях виброскорости в сравнении с рекомендациями стандарта ГОСТ Р ИСО 10816-1–97.

Индивидуальные различия в конструкции металлургических машин проявляются даже в приводе однотипных машин. Например, привод бесконусного загрузочного устройства лоткового типа конструкции фирмы Paul Wurth жестко установлен на колошнике доменной печи (рис. 6, а), но есть вариант расположения приводов вращения и наклона лотка на площадке колошника (см. рис. 6, б).

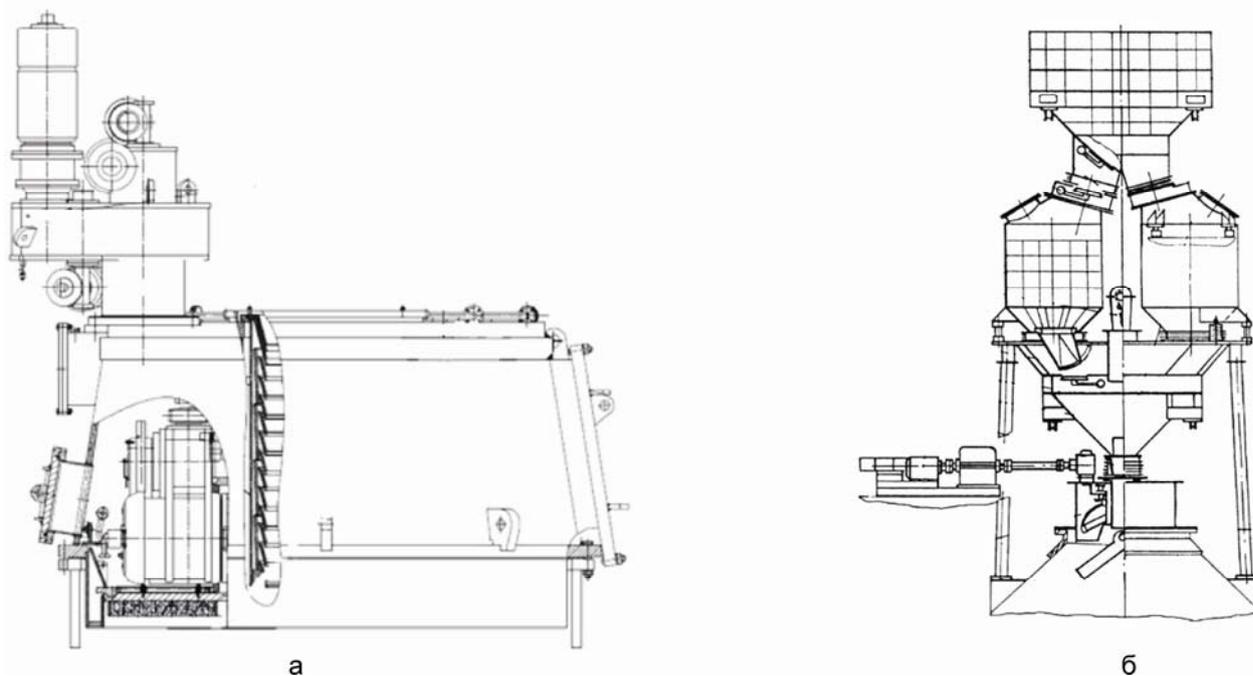


Рис. 6. Различные варианты расположения привода бесконусного загрузочного устройства

В первом случае допустимые значения будут ниже из-за жесткого основания, во втором — выше из-за податливого. По отношению к электрическим двигателям существуют рекомендации ГОСТ 20815–93 “Машины электрические вращающиеся. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотой оси вращения 56 мм и выше. Измерение, оценка и допустимые значения”, имеющие более жесткие по сравнению с ГОСТ Р ИСО 10816-1–97 ограничения на допустимую вибрацию приводных электрических двигателей.

Привод прокатных клетей непрерывных станов имеет индивидуальные зависимости (рис. 7, а)

между значениями виброскорости и частотой вращения двигателя (скоростью прокатки). Отклонение от “эталонных” зависимостей является признаком повреждения. При нормировании возможен и статистический подход, учитывающий количество наблюдений в вибрационных диапазонах (см. рис. 7, б).

Наиболее информативным для контроля состояния металлургических машин является значение виброускорения. Использование стандартов, регламентирующих данный диагностический параметр, ограничивается различной степенью затухания вибрационного сигнала для различных узлов редуктора.

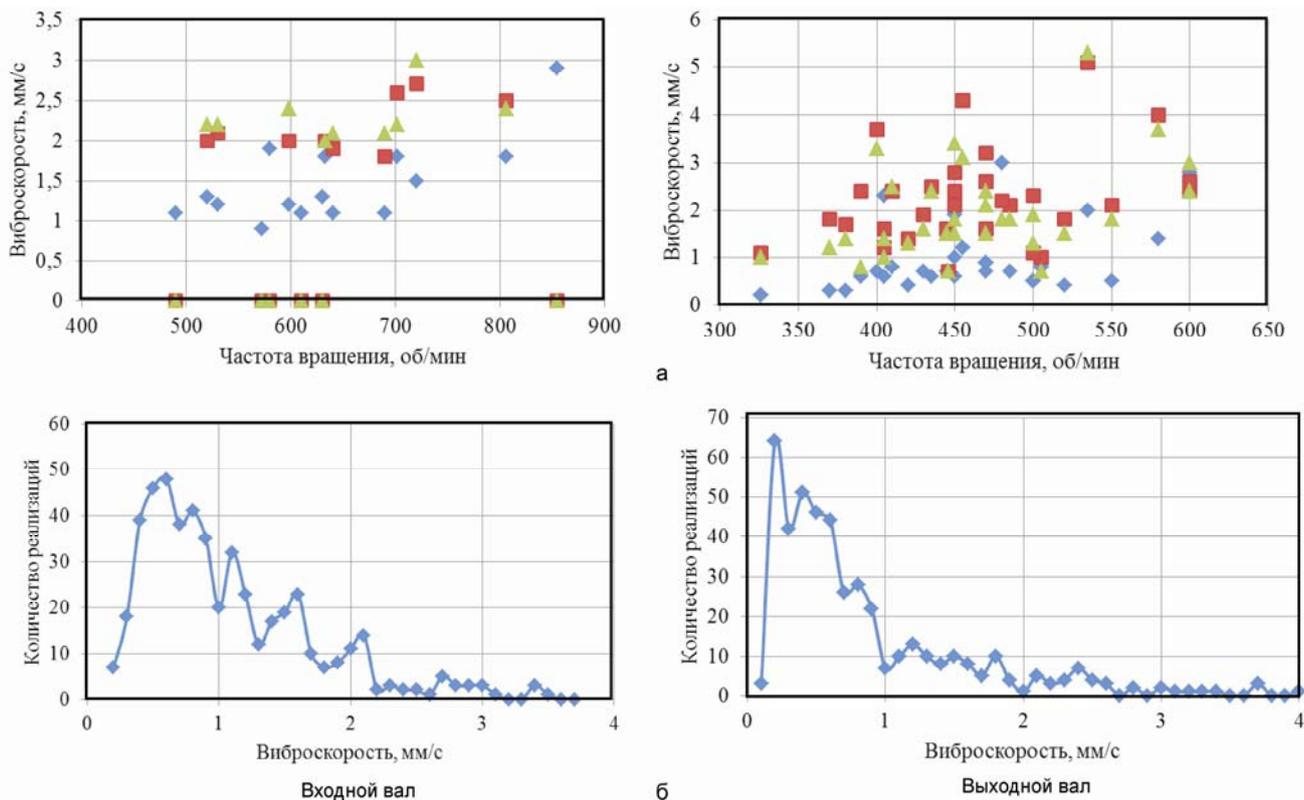


Рис. 7. Зависимости вибрации и частоты вращения прокатных клеток (а) и частоты реализаций значений виброскорости для валов редуктора (б)

Построение алгоритмов распознавания и принятия решений

Стандарт ГОСТ 25364–97, регламентирующий нормы вибрации опор валопроводов паротурбинных агрегатов, рекомендует сокращать время эксплуатации при повышении значений виброскорости. Предполагается постепенное развитие повреждения. Для металлургических машин наряду с постепенным износом элементов возможны и внезапные изменения технического состояния. Время развития повреждения определяет эффективность работы стационарной системы в том случае, если наряду с функциями контроля реализуются и функции защиты.

Прекращение подачи смазки к узлам комбинированного редуктора привода валков прокатной клетки непрерывного стана привело к внеплановой остановке. По результатам анализа токовых параметров и графиков частоты вращения двигателя при развитии повреждений выделены два периода: период устойчивой работы в течение 1 ч (рис. 8, а) и период развития повреждения (см. рис. 8, б). Реализация первого периода стала возможной из-за наличия остаточной масляной пленки на поверхности контакти-

рующих деталей. Развитие повреждения происходило в течение 3 мин и привело к повреждению зубьев конической передачи из-за смещения валов при разрушении подшипников.

Установка стационарной системы вибрационного контроля приводит к появлению высокопроизводительного источника данных о параметрах вибрации. Эти данные необходимо проанализировать, выделить информационные сообщения, на основании полученной информации оценить возможные риски и принять решения по обеспечению работоспособного состояния [10].

Необходимость использования в этом случае экспертных систем, реализующих предварительный анализ вибрационных данных, приводит к появлению в составе стационарной системы интеллектуальных модулей, что характеризует переход к мехатронным системам [11]. Функции мехатронных систем включают контроль, защиту и реализуют функции управления — изменение режима работы механизма или режима смазки, дополнительное уравнивание и др. Пока эти функции современным системам не доступны.

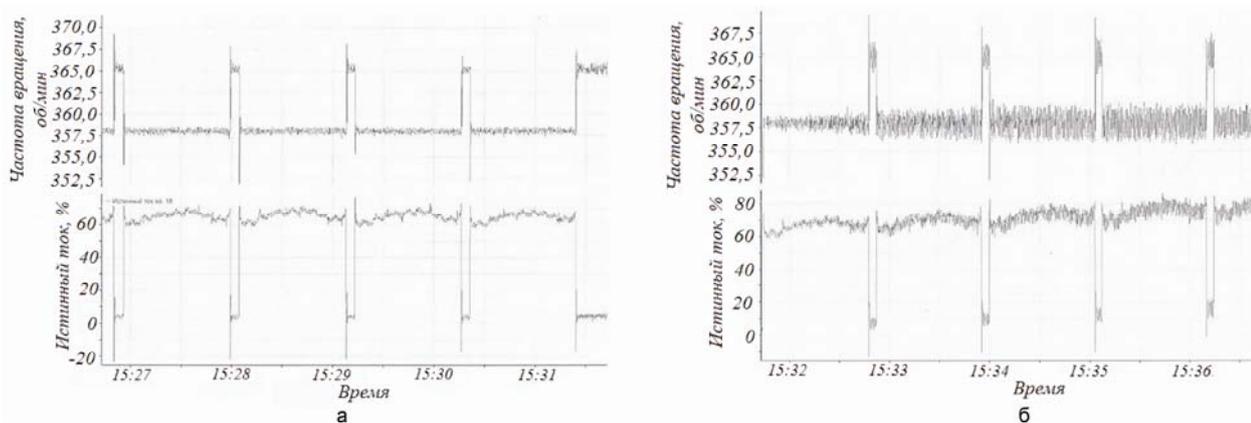


Рис. 8. Изменение токовых параметров и частоты вращения:
 а — при номинальном режиме; б — при развитии повреждения

Целесообразно выделить в работе вибрационных систем два режима:

- режим контроля, фиксирующий не только значения диагностических параметров, но и скорость их изменения;
- режим диагностирования с различением технического состояния по типовым спектральным картинам развития повреждений.

Распознавание неисправностей с использованием спектрального анализа затрудняется неоднозначностью проявления неисправностей при различных частотах вращения и при различной нагрузке. Стационарная система, работая в режиме анализа, должна определять зависимости между входными воздействиями и выходными реакциями, что необходимо предусмотреть в алгоритме распознавания.

Фактическое изменение технического состояния должно отслеживаться в реальном масштабе времени для возможности оперативного принятия решений по обеспечению работоспособного состояния. На рис. 8 время 15:31 соответствует удовлетворительному состоянию, время 15:33 — плохому состоянию и требует подачи смазки, время 15:36 — аварийному состоянию, что требует замены подшипника, далее — неконтролируемое состояние — разрушение элементов зубчатых передач. Примеры простого наблюдения за изменениями параметров вибрации приведены на рис. 9. Стационарная система накапливает данные и одновременно накапливаются повреждения в механизме при работе с вибрацией.

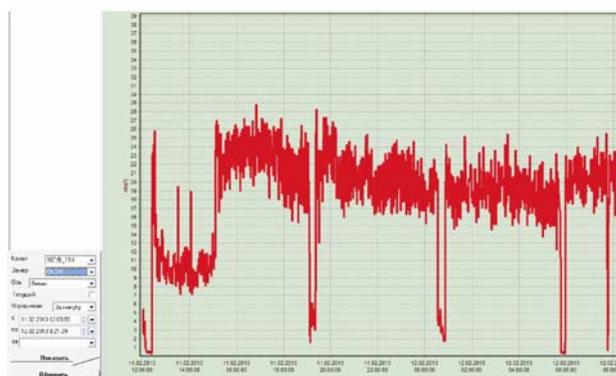
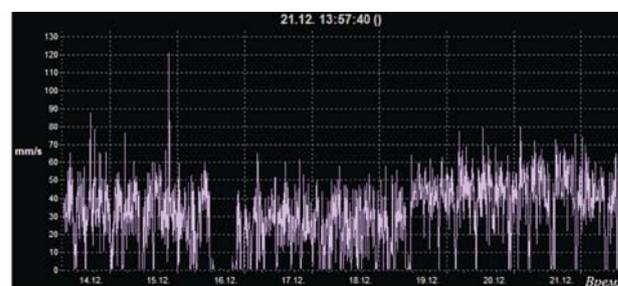


Рис. 9. Примеры наблюдения за работой оборудования с повышенным уровнем виброскорости

Традиционный светофорный индикатор в данном случае не спасает положение. Оборудование остановить невозможно, остается только наблюдать за его разрушением. Причина заключается в отсутствии специалистов, умеющих работать со стационарными системами. Предпола-

гается, что установка стационарной системы вибрационного контроля позволит исключить поломки оборудования. Но решения принимают специалисты на основании информации, полученной после обработки данных, предоставленной стационарной системой. Основной функцией становится раннее диагностирование с большим временем упреждения проводимых ремонтов. А для этого необходимы специалисты высокой квалификации, имеющие опыт подготовки и проведения ремонтов наблюдаемого оборудования.

За работой системы вибрационного контроля необходимо постоянно следить:

- анализировать полученные данные о параметрах вибрации;
- проводить сравнение с результатами контроля систем управления технологическим процессом и режимами работы;
- контролировать состояние крепления датчиков и соединительных кабелей;
- проводить периодический контроль переносными приборами и осуществлять проверку работы датчиков вибрации и многое другое.

Проведенные исследования диагностирования механизмов главных линий прокатных клетей показали необходимость использования при постановке диагноза большего объема диагностических данных: токовые характеристики привода, частота вращения, комплекс вибрационных параметров, параметры температуры. Постановка диагноза в таком сложном диагностическом пространстве возможна только при использовании экспертных систем. Простое сопоставление текущих измеренных значений вибропараметров с допустимыми не позволяло четко классифицировать состояние механизмов и выявить те случаи, в которых механизм требует приоритетного выполнения ремонтных воздействий.

Эффективность использования стационарной системы обычно определяется примерами предупреждения остановки оборудования из-за обнаруженных неисправностей. Но существуют и случаи, когда система виброзащиты не останавливает оборудование при превышении заданного порога вибрации.

Рабочее колесо паровой турбины имеет частоту вращения 18500 об/мин. Срок эксплуатации установки 2 года. При штатном режиме эксплуатации 17.03.2010 г. в 4:22 при уровне вибрации 0,77 мм/с произошло резкое увеличение виброскорости до 7,7 мм/с. Через 8 мин в 4:30 турбина была остановлена оператором из-за появления нехарактерного шума (рис. 10). При остановке

турбины зафиксировано увеличение среднеквадратичного значения виброскорости до 13,5 мм/с.

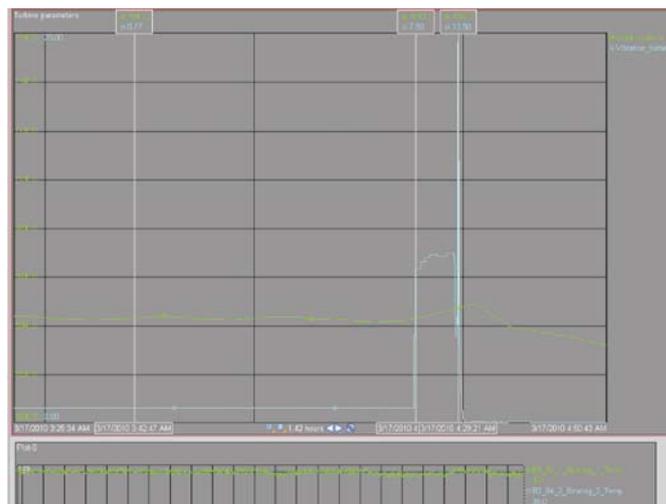


Рис. 10. Изменение параметров вибрации и температуры при остановке турбины 17.03.2010 г.

Система вибрационного контроля — техническая система, имеющая определенный уровень надежности и параметры работоспособного состояния. Одновременно с системой контроля работает коммутирующее оборудование, отказы которого могут происходить из-за окисления контактов и других причин, вызванных работой системы в режиме ожидания. Техническое обслуживание, проверки работоспособности должны быть внесены в перечень профилактических работ.

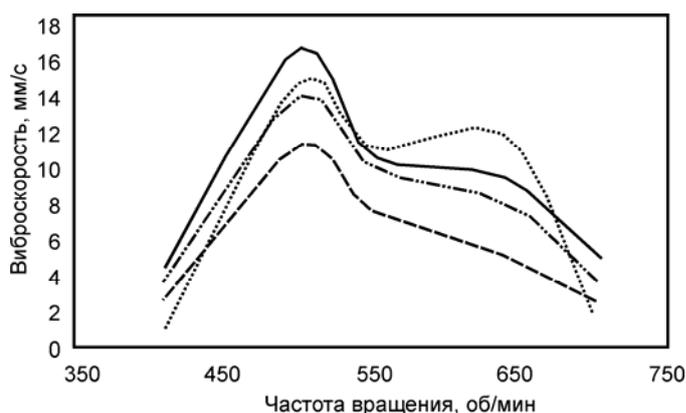


Рис. 11. Результаты измерения вибрации по редуктору привода прокатной клетки при различной частоте вращения

Существуют особенности, ограничивающие применение диагностических методов на металлургических машинах. Например, при наблюдении за состоянием подшипников качения с ис-

пользованием метода ударных импульсов можно получить сообщение об аварийном состоянии остановленного оборудования, если рядом возникают нестационарные ударные процессы. Так происходило при попытке контроля подшипников механизма подъема литейного крана. В алгоритме работы стационарной системы не был предусмотрен блок, распознающий режимы работы, исключая влияние нестационарных процессов.

Эффективность работы информационных систем связана с доверием к предоставляемой информации и умением ремонтного и технологи-

ческого персонала данную информацию использовать. При проведении вибрационных испытаний одной из клетей непрерывного прокатного стана были получены данные, показанные на рис. 11. По результатам диагностирования определена повышенная податливость основания, установлены сроки и объемы проведения ремонта. До проведения ремонта использовались технологические режимы с частотой вращения 400 и 700 об/мин, обеспечивающей минимальное накопление повреждений.

Выводы

1. Появление стационарных систем контроля вибрации металлургических машин предоставляет новые возможности в обеспечении безотказности их работы и является необходимым этапом в развитии служб технического диагностирования металлургических предприятий.

2. Структура и алгоритмы обработки данных стационарных систем контроля вибрационных параметров металлургических машин должны учитывать особенности режимов эксплуатации, конструкции, технического обслуживания и ремонта, что требует разработки нормативов допустимых и предельных значений виброускорения, методики оценки степени ослабления сигнала и анализа сигналов вибрации в его временной форме с учетом циклов нагружения.

3. Эффективность стационарных систем определяется преимуществами постоянного кон-

троля по сравнению с периодическими наблюдениями и возможностью контроля недоступных узлов. Появляются новые возможности для раннего диагностирования повреждений, выбора рациональных режимов работы клетей непрерывного прокатного стана, комплекса машин или отдельного механизма и др.

4. Требуется высокая квалификация специалистов обслуживающих систему, оперативное использование полученной информации ремонтным и технологическим персоналом. Стационарные системы могут выполнять не только функции контроля параметров вибрации, защиты от превышения допустимых значений, но и предоставлять информацию для систем управления техническим состоянием, технологическим процессом, обеспечивая его непрерывность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоров, В. А. Основные этапы развития и становления вибрационной диагностики [Текст] / В. А. Сидоров // Вибрационная диагностика. — 2014. — № 1. — С. 64–72.
2. Веренев, В. В. Диагностика и динамика прокатных станов [Текст] / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники [и др.]. — Днепропетровск: ИМА-пресс, 2007. — 144 с.
3. Веренев, В. В. Особенности и задачи вибрационной диагностики оборудования клетей прокатных станов [Текст] / В. В. Веренев, В. И. Большаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2007. — № 3. — С. 94–97.
4. Сидоров, В. А. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин [Текст] / В. А. Сидоров, А. Е. Сушко // Контроль. Диагностика. — 2011. — № 1. — С. 56–62.
5. Сушко, А. Е. Методология внедрения аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния и диагностики прокатных станов по различным параметрам вибрации [Текст] / А. Е. Сушко // Сталь. — 2011. — № 5. — С. 60–65.
6. Сушко, А. Е. Контроль технического состояния редукторных касет чистовых блоков прокатного стана 150 с использованием стационарной системы вибрационной диагностики [Текст] / А. Е. Сушко, Е. М. Дёмин, В. В. Кузнецов [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2014. — № 2 (287). — С. 72–77.
7. Панов, А. Н. Вибромониторинг привода скиповой лебедки доменной печи с помощью стационарных систем [Текст] / А. Н. Панов, Д. В. Чистяков, С. М. Коробейников, К. Е. Гузей // Электротехнические системы и комплексы. — 2015. — № 1 (26). — С. 34–36.
8. Панов, А. Н. Применение стационарной системы вибродиагностики главного редуктора привода бесконусного загрузочного устройства доменной печи [Текст] / А. Н. Панов, Д. В. Чистяков, С. М. Коробейников, К. Е. Гузей // Там же. — 2015. — № 2 (27). — С. 37, 38.
9. Панов, А. Н. Применение автоматизированной стационарной системы виброконтроля на главном приводе прокатного стана [Текст] / А. Н. Панов, Д. В. Чистяков, С. М. Коробейников, К. Е. Гузей // Там же. — 2015. — № 4 (29). — С. 39–41.

10. Крумбах, Р. Прозрачный сбор и обработка результатов измерений [Текст] / Р. Крумбах, У. Леттау // Черные металлы. — 2013. — № 1. — С. 68–71.
11. Пфачбахер, Т. Мехатронные системы производства лучшей стали / Т. Пфачбахер, М. Тратниг, Х. Седиви [и др.] // Там же. — 2013. — № 1. — С. 63–67.

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ДИФФУЗИОННОГО ФАКЕЛА НА ТЕПЛОПЕРЕНОС ПРИ ОБЖИГЕ СЫПУЧИХ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

*И. В. ПРОСВЕТОВ, В. Д. КОРШИКОВ, д-р техн. наук, korshvd@mail.ru;
И. Н. ЧМЫРЕВ, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»)*

Во вращающихся печах происходят сложные технологические процессы, важнейшими из которых являются образование диффузионного факела и, соответственно, сопряженный теплоперенос от факела к технологическому материалу и футеровке. При этом качество обжигаемого материала в печи зависит от температурного уровня в зоне обжига, ограниченного для разных материалов по максимальной температуре (от 1300 до 1500 °С) эффектом налипания на футеровку печи, а по минимальной (от 900 до 1200 °С) — началом необходимых структурных изменений сыпучих. Указанные температурные пределы одновременно фиксируют длину зоны обжига.

Особенностью процесса горения во вращающихся печах является организация удлиненного факела путем отдельной подачи в зону горения первичного и вторичного воздуха. В этих условиях интенсивность сгорания топлива зависит в основном от турбулентной диффузии в процессе смешения топлива с воздухом и, в существенно меньшей степени, от скорости окислительных реакций [1].

В настоящей работе использована расчетная модель обжига сыпучего материала во вращающейся печи [2], дополненная эмпирическими соотношениями, позволяющими найти распределение температур по длине диффузионного факела. В соответствии с методикой [3] принята экспоненциальная зависимость выгорания топлива по длине факела при заданной величине недожога $C_{\phi} = 0,02$:

$$\varphi_i = \exp \left(- \ln(C_{\phi}) \frac{l_i^2}{l_{\phi}^2} \right), \quad (1)$$

где l_i — длина факела на границе i -й расчетной зоны; φ_i — концентрация топлива на границе i -й зоны; l_{ϕ} — общая длина факела.

Для определения температуры дымовых газов $T_{гор}$ в различных поперечных сечениях по длине диффузионного факела записаны уравнения теплового баланса для каждого i -го сечения с учетом разбиения печи на n расчетных участков (рис. 1):

$$Q_{\text{физ.топл}} + Q_{\text{физ.возд}} + Q_{\text{н}}^p (\varphi_0 - \varphi_i) = T_{гор}^i (\alpha - 1 + \varphi_i) L_0 C_{\text{возд}}(T) + (\varphi_0 - \varphi_i) T_{гор}^i V_{\text{дым}} C_{\text{дым}}(T), \quad (2)$$

где $Q_{\text{физ.топл}}$ и $Q_{\text{физ.возд}}$ — физическая теплота топлива и воздуха горения соответственно; $Q_{\text{н}}^p$ — низшая теплота сгорания топлива; φ_0 — начальная концентрация топлива; φ_i — концентрация топлива на границе i -й зоны; $T_{гор}$ — расчетная температура горения; α — коэффициент избытка воздуха; L_0 — стехиометрический объем воздуха горения; $V_{\text{дым}}$ — объемный расход дымовых газов; $C_{\text{возд}}(T)$ и $C_{\text{дым}}(T)$ — объемные теплоемкости воздуха и дыма, заданные температурными функциями, соответственно.

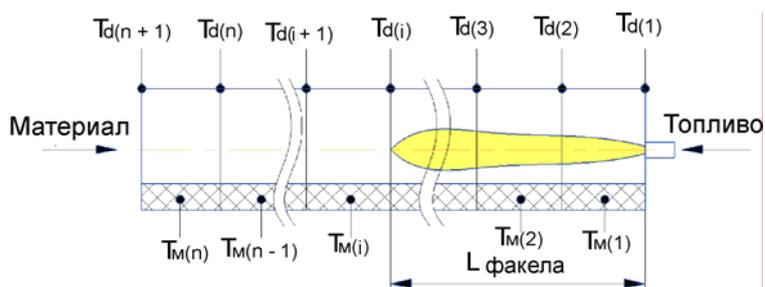


Рис. 1. Принципиальная схема разбиения вращающейся печи на расчетные участки

Величины $Q_{\text{физ.топл}}$, $Q_{\text{физ.возд}}$, $V_{\text{дым}}$ и L_0 , а также зависимости $C_{\text{возд}}(T)$ и $C_{\text{дым}}(T)$ определяли по методике [4]. Температура $T_{\text{гор}}$ в соответствии с уравнениями (1) и (2) рассчитывалась в каждом i -м сечении вращающейся печи.

Расчетный алгоритм математической модели реализован в среде Scilab. Исходные данные для типовой вращающейся печи приведены в таблице. В соответствии с данными работы [3] в качестве минимально допустимой принята длина зоны обжига $l_{\text{обж}} = 10$ м, при этом изменение температуры по длине обжигаемого материала должно находиться в пределах 1150–1500 °С.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Величина	Значение	Величина	Значение
Длина печи L , м	50	Коэффициент расхода воздуха α	1,25
Внутренний радиус печи R , м	1	Температура подаваемого воздуха $T_{\text{в}}$, К	453
Толщина слоя футеровки (огнеупорного) δ_1 , м	0,25	Температура окружающей среды $T_{\text{о.с}}$, К	293
Производительность печи P , кг/с (т/ч)	2,5 (9)	Порозность слоя материала ϕ	0,35
Плотность материала (шамота) $\rho_{\text{м}}$, кг/м ³	1900	Степень черноты материала $\epsilon_{\text{м}}$	0,6
Температура материала перед загрузкой в печь $T_{\text{м}}$, К	373	Степень черноты внутренней поверхности футеровки $\epsilon_{\text{ст}}$	0,6
Продолжительность обжига τ , с	5400	Степень черноты кожуха печи $\epsilon_{\text{к}}$	0,75
Расход топлива B , м ³ /ч	1400	Число участков по длине печи n	50
Температура подогрева топлива $T_{\text{т}}$, К	453	Число сдвигов материала S	100

Расчеты при использовании различных видов топлива [5] показали (рис. 2), что для принятой к анализу типовой вращающейся печи при обжиге шамота длина факела составляет 14 м, а максимальная температура материала не достигает критического значения 1500 °С. Дальнейшее увеличение длины факела при неизменном расходе топлива приводит к повышению температуры уходящих газов и, как следствие, к менее экономичной работе печи. Показано, что увеличение длины диффузионного факела позволяет при реализации минимальной длины обжига 10 м (когда температура материала выше 1150 °С) уменьшать расход топлива, подаваемого на печь. Увеличение длины факела с 14 до 17 м приводит к снижению расхода природного газа с 1400 до 1200 м³/ч.

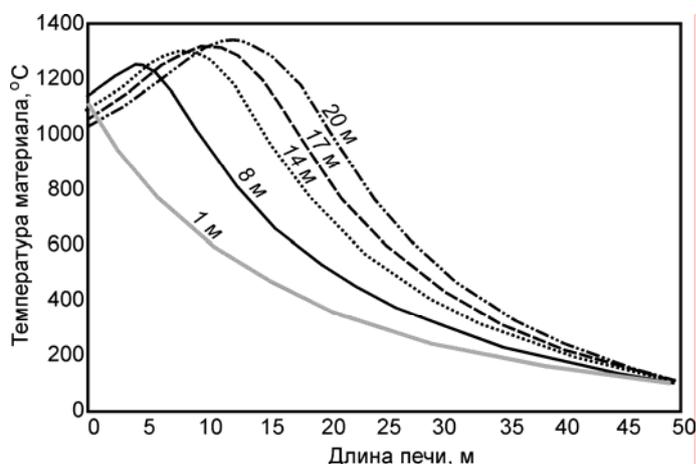


Рис. 2. Профиль температуры материала по длине печи в зависимости от длины факела

Вывод

Увеличение длины диффузионного факела позволяет одновременно увеличивать длину зоны обжига, а значит и его качество. Технологам путем организации подачи первичного и вторичного воздуха в зону горения необходимо обеспечивать максимально растянутый факел.

При этом следует дополнительно оценивать аэродинамические характеристики факела применительно к конкретному горелочному устройству во избежание касания факелом футеровки стены и обжигаемого материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубаев, П. А. Методы компьютерного моделирования [Текст]: монография / П. А. Трубаев, В. А. Кузнецов, П. В. Беседин. — Белгород: БГТУ: БИЭИ, 2008. — 230 с.
2. Коршиков В. Д. К расчету теплопереноса при обжиге сыпучих во вращающейся печи [Текст] / В. Д. Коршиков, И. В. Просветов, А. И. Ярцев // Вестник ЛГТУ. — 2016. — № 4 (30). — С. 41–45.
3. Арутюнов, В. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей [Текст]: учебник для вузов / В. А. Арутюнов, В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников. — М.: Metallurgia, 1990. — 239 с.
4. Коршиков, В. Д. Теория и практика теплогенерации [Текст]: учебное пособие / В. Д. Коршиков. — Липецк: ЛГТУ, 2013. — 71 с.
5. Коршиков, В. Д. Разработка альтернативных технологий получения топлива из твердых бытовых отходов для высокотемпературных вращающихся печей [Текст] / В. Д. Коршиков, М. В. Конев, А. В. Бондаренко [и др.] // Вести высших учебных заведений Черноземья. — 2012. — № 4. — С. 52–57.

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ПЕРИОДИКИ

1. Система с двойным зондом для анализа отходящего газа ДСП: решения для оптимизации процесса в ДСП, программа синергии. EAF double probe extraction system for off-gas analysis: the SMS group's cornerstone for EAF process optimization solutions — The synergy program / A. Lanari, M. Milocco, F. Trigatti // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 723–733 (англ.).
2. Анализ временной задержки теплопередачи, вызванной шлаком накопленным на боковых панелях ДСП. Analysis of time delay in heat transfer caused by slag accumulated on EAF side panels / M. Aula, M. Hultgren, K. Valloet al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 734–743 (англ.).
3. Последние разработки по модернизации электродуговых печей. Latest modernization developments for electric arc furnaces / P. Zipp, H. Beile // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 744–752 (англ.).
4. Поведение радионуклидов Cs и Sr при переплавке загрязненного лома в электродуговой печи. Behaviour of Cs and Sr radionuclides during the electric arc re-melting of contaminated scraps / S. Ge, P. Hudon, I. Jung et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 775–784 (англ.).
5. Расширенный новый обзор систем вдувания химикатов в электродуговой печи. Extended new overview of chemical injection systems at the EAF / H. Beile, J. Apfel // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 805–814 (англ.).
6. Результаты оптимизации процесса в ДСП с использованием системы AMIGE SmartFurnace. Results in EAF Process optimization with AMIGE SmartFurnace system / G. Fernandez // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 845–849 (англ.).
7. Обход проблем, связанных с водяным охлаждением: пример применения системы ILTEC на 100-т-ДСП. Bypassing problems related to water cooling – Case study for applying ILTEC in a 100t EAF / M. Hanel, A. Filzwieser, S. Wallner et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 850–859 (англ.).
8. Техобслуживание выпускного отверстия ДСП при эксплуатации робота: повышение безопасности рабочих. Robotic guided tap hole maintenance on EAF, a major increase of worker safety / M. Hirth, A. Priesner, A. Keplinger // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 860–867 (англ.).
9. Улучшение автоматической системы шлаковой дверцы: опыт и результаты 7-ми летней работы. Technical update on the SMS group automatic slag door condoor: lessons learned and results achieved in 7 years of experience / M. Milocco, A. Lanari, M. Volpeet al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 868–880 (англ.).
10. Анализ энергосистемы ДСП постоянного тока SGL PRO ARC DC. Power system analysis of direct current electric arc furnaces — SGL PRO ARC DC / H. Fuchs, N. Beever // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 881–885 (англ.).
11. Мероприятия по совершенствованию процесса в ДСП для Acciaierie di Calvisano, включая метод с KPI для контроля процесса и вдувания извести. Activities for EAF Process Improvement to Acciaierie di Calvisano including KPI's approach for process monitoring and implementation of lime injection / L. Angelini, P. Frittella, N. Moraet al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 901–911 (англ.).
12. Моделирование и контроль процесса производства стали для оценки и улучшения технологических характеристик и качества стали. Activities for through process modelling and monitoring of steelmaking process to estimate and improve process performances and steel qualities / P. Frittella, M. Fusato, G. Foglio // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 912–921 (англ.).
13. Регулирование температуры по конечноразностной схеме с неравномерным распределением толщины в процессе прокатки с градиентом температуры. Temperature Control Technology by Finite Difference Scheme with Thickness Unequally Partitioned Method in Gradient Temperature Rolling Process / J. Ding, Z. Zhao, Z. Jiao et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1141–1148 (англ.).
14. Периодическое наблюдение структурных изменений и реакций в минералах высокофосфористого оолитового гематита при карботермическом восстановлении. Intermittent Microscopic Observation of Structure Change and Mineral Reactions of High Phosphorus Oolitic Hematite in Carbothermic Reduction / Y.Y. Zhang, Q.G. Xue, H. Zuo // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1149–1155 (англ.).
15. Динамическая смачиваемость жидкостями газифицируемого металлургического кокса. Dynamic Wettability of Liquids on Gasified Metallurgical Cokes / T. Kon, S. Sukenaga, S. Ueda // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1166–1172 (англ.).
16. Влияние позиции главного ленточного питающего конвейера на распределение шихты в процессе загрузки доменной печи с бесконусным устройством, с двумя параллельными бункерами. Effect of the Main Feeding Belt Position on Burden Distribution during the Charging Process of Bell-less Top Blast Furnace with Two Parallel Hoppers / W. Xu, S. Cheng, Q. Niu // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1173–1180 (англ.).
17. Восстановление монооксидом углерода соединений системы CaO-Fe₂O₃. Reduction of CaO-Fe₂O₃ Series Compounds by CO / C. Ding, X. LV, Gang Li et al // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1181–1190 (англ.).
18. Влияние капель металла на электромагнитное

- поле, поле потока и поле температур в процессе электрошлакового переплава. Effects of Metal Droplets on Electromagnetic Fields Fluid Flow and Temperature Field in Electroslag Remelting Process / J. Yu, Z. Jiang, F. Liu et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1205–1212 (англ.).
19. Влияние состава шлака на отделение фосфора от сталеплавильного шлака восстановлением. Effect of Slag Composition on Phosphorus Separation from Steelmaking Slag by Reduction / K. Nakase, A. Matsui, N. Kikuchi et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1197–1204 (англ.).
 20. Оптимальный расчет горячей прокатки полос С-Mn сталей на основе больших массивов данных. High Dimensional Data-driven Optimal Design for Hot Strip Rolling of C-Mn Steels / S. Wu, G. Cao, X. Zhoi // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1213–1220 (англ.).
 21. Новейшая технология оптимизации загрузки при отжиге в колпаковой печи. Furnace Charging Comprehensive Optimization Technology of the Bell-type Annealing Process / Zhen-hua Bai, Ya-ya Cui, Jun ZHANG et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1221–1227 (англ.).
 22. Дифрактометрия EBSD и нагревом на месте при изучении влияния относительного обжата при холодной прокатке на рекристаллизацию и рост зерен в электротехнических сталях с 3 % Si. In-situ Heating EBSD Study of Effects of Cold Reduction Ratio on Recrystallization and Grain Growth Behaviors in 3% Si Electrical Steels / H. Mun, S. Lee, Y.-M. Koo // ISIJ International. 2017. V. 57. № 7. С. 1241–1245 (англ.).
 23. Разработка способа ускоренного отверждения коксосодержащей окускованной руды. Development of Rapid Curing Process of Reactive Coke Agglomerate / K. Higuchi, H. Yokoyama, H. Sato et al. // Tetsu-to-Hagane. 2017. Т. 103. № 7. С. 407–413 (япон.).
 24. Проверка механизма повышения чувствительности при высокочастотном плазменном анализе с вводом десольватирующего агента и применение его к анализу черных металлов. Examinations for Sensitivity Improvement and Applications to Steel Samples of Mistral Desolvating Sample Introduction Method Hyphenated to ICP-MS/AES / D. Itabashi, K. Mizukami, M. Aimoto et al. // Tetsu-to-Hagane. 2017. Т. 103. № 7. С. 414–421 (япон.).
 25. Сравнение индукционной печи и ДСП при производстве стали. Преимущества и недостатки. Induction Furnace Versus Electric Arc Furnace in Steelmaking Process; Advantages and Disadvantages / H. Koblenzer, B. Vucinic // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 6–13 (англ.).
 26. Опыт лидерства в области безопасности в компании NatSteel. The Safety Leadership Experience in NatSteel / Indirakuma rGunasekaran // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 14–21 (англ.).
 27. Механизм растрескивания валков и его предотвращение при холодной прокатке. Mechanism and Prevention Measures of Roll Spalling in Cold Rolling Process / N.Yasutake, M. Kobayashi // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 22–28 (англ.).
 28. Энергосберегающий процесс с поглощением CO₂ (ESCAP). Energy Saving C O₂ Absorption Process (ESCAP) / Daisuke Hagi // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 37–40 (англ.).
 29. Последние усовершенствования печей с предварительным нагревом лома. Latest Improvement in Shaft Based Scrap Preheating Furnaces / Beile Hannes, Apfel Jens, Hem Michel // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 41–46 (англ.).
 30. Влияние высококачественной железной руды на работу доменных печей в Юго-Восточной Азии. Influence of High Grade Iron Ore Usage on the Performance of SEA Blast Furnaces / M.V. Oliveira, P. Kumar, D. Oliveira // SEAI Quarterly Journal. 2017. V. 46. № 2. С. 52–61 (англ.).
 31. Продукты из металлургических шлаков на JFE Steel и новые технологии утилизации. Ironmaking and Steelmaking Slag Products and its New Effective Utilization Technology / T. Matsumoto, H. Toba, K. Watanabe // JFE Giho. 2017. № 40. С. 1–6 (япон.).
 32. Улучшение состояния морской среды с применением продукта “Marine Stone” из сталеплавильного шлака, разработанного для улучшения морского дна. Improvement of Marine Environment Using “Marine Stone™” Made of Steelmaking Slag / Y. Miyata, K. Tanishiki, K. Watanabe et al. // JFE Giho. 2017. № 40. С. 7–12 (япон.).
 33. Размножение водорослей и привлечение рыбы к донным сооружениям из сталеплавильного шлака – практический результат. Effects of Seaweed Epiphytic and Fish-gathering due to the Construction by Steel-making Slag / K. Yabuta, K. Sugimoto, E. Hayashi et al. // JFE Giho. 2017. № 40. С. 13–18 (япон.).
 34. Характеристики “гидратированной матрицы металлургического шлака” после длительного пребывания в морской акватории. Properties of Iron and Steel Slag Hydrated Matrix Exposed in Sea Area for Long Period / Y. Inoue, H. Matsunaga, K. Watanabe // JFE Giho. 2017. № 40. С. 19–24 (япон.).
 35. Разработка способа “Smart Compaction” (SCP) изготовления набивных песчаных свай с применением сталеплавильного шлака. Development of SCP Method Using Steelmaking Slag / H. Honda, K. Onda, S. Awazu // JFE Giho. 2017. № 40. С. 38–44 (япон.).
 36. Использование продукта “Ferroform” в бетонном дорожном покрытии. Application of “Ferroform™” to Concrete Pavement / T. Ochiai, Y. Inoue, F. Tanimoto et al. // JFE Giho. 2017. № 40. С. 51–56 (япон.).

37. Разработка процесса производства крупного заполнителя из доменного шлака с малым водопоглощением. Development of Manufacturing Process of Blast Furnace Slag Coarse Aggregate with Low Absorption / Y. Ta, H. Tobo, K. Watanabe // JFE Giho. 2017. № 40. С. 57–61 (япон.).
38. Оценка применимости бетона с крупным заполнителем из плотного доменного шлака с малым коэффициентом водопоглощения. Evaluation of Concrete Applicability for Coarse Aggregate of Dense Blast Furnace Slag with Low Water Absorption Ratio / K. Nakanishi, Y. Murata, Y. Ta // JFE Giho. 2017. № 40. С. 62–68 (япон.).
39. Положительное влияние мелкого заполнителя из доменного шлака на долговечность мертеля и бетона в условиях заморзания и оттаивания, в присутствии соли. Effect of Blast Furnace Slag Fine Aggregate for Freezing-and-Thawing Durability of Mortar and Concrete under Salt Existence Environment / K. Takahashi, K. Watanabe, K. Nii-tani // JFE Giho. 2017. № 40. С. 69–74 (япон.).
40. Влияние MnO на химическую активность молотого доменного шлака. Influence of MnO on Activity of Ground Granulated Blast Furnace Slag / H. Tobo, H. Okuyama, K. Arima // JFE Giho. 2017. № 40. С. 75–79 (япон.).
41. Разработка способа утилизации теплосодержания сталеплавильного шлака. Development of Heat Recovery System from Steelmaking Slag / N. Shigaki, Y. Ta, I. Sumi // JFE Giho. 2017. № 40. С. 80–84 (япон.).
42. Разработка способа получения железосодержащего сырья из сталеплавильного шлака. Development of Iron Recovery Technigue from Steelmaking Slag / K. Nakase, T. Hochino, M. Sasaki // JFE Giho. 2017. № 40. С. 85–90 (япон.).

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

(по данным российских и зарубежных СМИ и пресс-служб предприятий)

В РОССИЙСКОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

По данным Росстата, индекс промышленного производства в январе–октябре 2017 г. составил 101,6 % к январю–октябрю 2016 г.

В октябре 2017 г. он составил 100,0 % к октябрю 2016 г.

Индекс металлургического производства в январе–октябре 2017 г. продемонстрировал снижение и составил 97,5 % к январю–октябрю 2016 г.

В октябре 2017 г. по сравнению с октябрём 2016 г. — 87,6 %.

Индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в январе–октябре 2017 г. по сравнению с январем–октябрем 2016 г. составил 96,4 %.

В октябре 2017 г. по сравнению с октябрём 2016 г. — 98,4 %.

Выпуск важнейших видов продукции черной металлургии за январь–октябрь 2017 г., млн т

Продукция	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г./ январь–октябрь 2016 г., %
Концентрат железорудный	79,4	94,0
Ферросилиций, тыс. т	691,4	89,2
Чугун	42,8	100,2
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали	45,1	101,1
Прокат готовый черных металлов	49,8	101,6

По предварительным данным Росстата, в ноябре 2017 г. металлургические предприятия изготовили 4,4 млн т чугуна (чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или прочих первичных формах), что на 1,9 % выше объемов аналогичного месяца прошлого года.

В ноябре производство готового проката черных металлов составило 4,8 млн т и сократилось на 7,3 % к предыдущему месяцу, относительно ноября 2016 г. — на 6,8 %.

Экспорт из России в январе–октябре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Руды и концентраты железные	17547,5
Кокс и полукокс	2516,8
Чугун	3589,7
Ферросплавы	617,4
Полуфабрикаты из углеродистой стали	11731,2
Прокат плоский из углеродистой стали	7230,8

По данным Федеральной таможенной службы, в январе–октябре 2017 г. доля металлов и изделий из них в общем стоимостном объеме экспорта в страны дальнего зарубежья составила 10 %.

В январе–октябре 2016 г. доля составляла 9,9 %.

Стоимостный объем экспорта вырос по сравнению с январем–октябрем 2016 г. на 26,6 %, а физический снизился на 3,6 %. Экспорт чугуна сократился на 15,7 %, стальных полуфабрикатов — на 4,9 %, ферросплавов — на 5,8 %.

Доля металлов и изделий из них в общем стоимостном объеме экспорта в страны СНГ в январе–октябре 2017 г. составила 12,5 % (в январе–октябре 2016 г. — 11,9 %).

Возросли физические объемы экспорта черных металлов и изделий из них на 12,0 %, в том числе ферросплавов — на 67,4 %, полуфабрикатов из железа или нелегированной стали — на 25,3 %, проката плоского из железа и нелегированной стали — на 20,0 %.

Импорт в Россию в январе–октябре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома)	4709,0
Трубы стальные	602,2

По данным Федеральной таможенной службы, в январе–октябре 2017 г. в товарной структуре российского импорта из стран дальнего зарубежья удельный вес металлов и изделий из них составил 5,8 %, превысив показатель января–октября 2016 г. — 5,4 %.

Физический объем данной товарной группы по сравнению с январем–октябрем 2016 г. увеличился на 42,4 %, стоимостный — на 31,7 %. Возросли физические объемы ввоза труб на 82,4 %, проката плоского из железа и нелегированной стали — на 12,4 %.

Удельный вес металлов и изделий из них в товарной структуре импорта из стран СНГ в январе–октябре 2017 г. составил 16,8 % (в январе–октябре 2016 г. — 13,8 %). Импорт листового проката увеличился на 41,5 %, труб — на 33,8 %.

По данным ассоциации “Спецсталь”, в январе–октябре 2017 г. объем импорта продукции из нержавеющей стали в Россию вырос на 27,4 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года и составил 310,77 тыс. т.

В том числе объем ввоза листового проката вырос на 25,6 %, сортового — на 12,7 %, электросварных труб — на 43,3 %, бесшовных труб — на 82,2 %, проволоки — на 22,3 %, трубной

арматуры — на 17,1 % и первичной заготовки — на 59,4 %.

По оценке Фонда развития трубной промышленности (ФРТП), по итогам 2017 г. производство стальных труб в России составит 11,4 млн т, что на 9 % выше показателя 2016 г.

Объем потребления при этом оценивается в 10 млн т, рост на 3 % к уровню прошлого года.

Основными факторами роста производства в 2017 г. стали экспортные поставки — 1,9 млн т (рост на 60 % к уровню прошлого года), в основном за счет труб большого диаметра для осуществления международных трубопроводных проектов.

Увеличился спрос в сегментах нарезных труб (ОСТГ), промышленных труб, а также труб для строительства и ЖКХ (рост в 2017 г. составит 9 %, или 4,1 млн т).

Индекс производства кокса и нефтепродуктов в январе–октябре 2017 г. по сравнению с январем–октябрем 2016 г. составил 100,5 %.

В октябре 2017 г. по сравнению с соответствующим месяцем предыдущего года индекс составил 98,3 %.

Индекс производства по виду деятельности “Добыча полезных ископаемых” в январе–октябре 2017 г. по сравнению с январем–октябрем 2016 г. составил 102,5 %.

В октябре 2017 г. по сравнению с соответствующим месяцем предыдущего года данный индекс составил 99,9 %.

НОВОСТИ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

На Череповецком металлургическом комбинате (ЧерМК, входит в “Северсталь Российская сталь”) завершен проект в листопрокатном цехе № 2 по улучшению работы стана горячей прокатки 2000.

Проект направлен на повышение эффективности и качества выпускаемой продукции. Сумма инвестиций в проект превысила 120 млн руб.

Стан 2000 ЧерМК выпускает более 6 млн т/год металлопроката, обеспечивая 65 % объема товарной продукции предприятия.

Нижнетагильский металлургический комбинат (ЕВРАЗ НТМК, входит в “Евраз Групп”) начал выпускать новый металлопрокат — двутавровые балки класса прочности С390 и С440.

Горячекатаная балка ЕВРАЗ НТМК производится из стали, легированной ванадием. Подобную металлопродукцию можно применять для различных видов строительных конструкций с высоким уровнем нагрузок. Ее использование позволяет уменьшить металлоемкость конструкций на 5–15 % и таким образом снизить себестоимость строительных проектов.

На Волгоградском металлургическом комбинате "Красный Октябрь" в цехе отделки металлопроката будет установлено новое оборудование — два обдирочных станка, предназначенных для прутков большого диаметра, а также правильная двухвалковая машина.

Технические возможности обдирочных станков позволят производить обработку всего сортамента крупнозаготовочного стана комбината.

Новое оборудование поможет увеличить объем выпускаемой продукции, а также обрабатывать прутки диам. 58–360 мм и длиной 3–6,5 м.

На Златоустовском электрометаллургическом заводе в прокатном цехе № 1 освоили производство горячекатаной полосы сечением 45×580 мм.

Технология разработана техническими службами предприятия.

С применением новых утепляющих смесей при разливке слитков в изложницы прокатка осуществляется без промежуточной зачистки в холодном состоянии и дополнительного подогрева.

Камский металлургический комбинат ТЭМПО с 1 января 2018 г. вводит в действие новый межгосударственный стандарт "Прокат арматурный для железобетонных конструкций".

Компании присвоен номер 40 для маркировки продукции.

Стандарт предусматривает базовые требования на арматуру и позволяет производителям и потребителям оговаривать дополнительные характеристики: свариваемость, коррозионную стойкость, пластичность и т. д.

Раздел подготовлен по материалам ОАО "Черметинформация", следующих информационных агентств: "Интерфакс", Advis.ru, "Коммерсантъ", "Урал-пресс-информ", "Металлсервис", infogeo.ru, MetalTorg.Ru, "Бизнес-ТАСС", M&Aonline, "Финам.Ru", "РосБизнесКонсалтинг", "Рейтер", metallischekiy-portal.ru, "Металлоснабжение и сбыт", rusmet.ru, а также Министерства экономического развития РФ, Федеральной государственной службы статистики РФ, Федеральной таможенной службы РФ и пресс-служб предприятий и компаний.

В МЕТАЛЛУРГИИ МИРА

По данным World Steel Association (WSA), в январе–октябре 2017 г. мировое производство чугуна составило 988,75 млн т, что на 0,9 % выше показателя января–октября 2016 г.

Крупнейшими производителями чугуна в январе–октябре 2017 г. оставались Китай (602,96

млн т), Япония (65,3 млн т), Индия (54,6 млн т) и Россия (43,1 млн т).

В число ведущих продуцентов чугуна вошли:

– Южная Корея (39,3 млн т);
– Германия (23,7 млн т);
– Бразилия (23,6 млн т);
– США (19,0 млн т).

На Уральском трубном заводе ("Уралтруб-пром") создали новое производство.

В цеху будут изготавливаться соединительные муфты для нефтяных труб. Ожидается, что эти компоненты во много облегчат нефтедобычу на месторождениях.

В общей сложности ОАО "Уральский трубный завод" инвестировало в новую программу модернизации производства 150 млн руб.

Металлургический завод "Ижсталь" на установках внепечной обработки освоил технологию выплавки нержавеющей стали с легированием металла азотом.

Технология позволяет повысить пластичность стали при переделе, а также увеличить экономическую эффективность производства за счет снижения расхода легирующих элементов и азотированных ферросплавов.

Металлопродукция из такой стали применяется в судостроении, автомобильной, нефтедобывающей и других отраслях промышленности.

Также завод освоил технологию непрерывной разливки более 30 нержавеющей сталей, в том числе сложнолегированных и труднодеформируемых сварочных марок.

По данным WSA, в январе–октябре 2017 г. в мире было выплавлено 1410,5 млн т стали, что на 5,6 % выше показателя января–октября 2016 г.

По сравнению с сентябрем этот показатель в октябре был ниже на 2,7 % (3,82 млн т). Практически все ведущие страны мира нарастили выплавку стали.

В странах Азии производство стали в январе–октябре 2017 г. выросло на 6,0 %, до 975,17 млн т, в том числе в Китае — на 6,1 %, до 709,5 млн т. Индия стала третьим крупнейшим производителем стали в мире после Китая, Японии, нарастив выпуск на 6,4 % (до 84,1 млн т). Производство в Японии снизилось на 0,2 %, до 87,2 млн т, в Южной Корее увеличилось на 3,7 %, до 59,1 млн т.

Рост производства стали в январе–октябре 2017 г. достиг в европейских странах (ЕС-28) 3,7 %, до 140,8 млн т. В том числе увеличилось производство стали в Германии до 36,5 млн т (на 2,7 %), в Италии — до 20,1 млн т (на 3,1 %), в Испании — 2 %, в Великобритании сократилось на 2,8 %.

Производство стали в Турции в январе–октябре 2017 г. на 13,3 % было выше уровня аналогичного периода прошлого года и составило 31 млн т.

В Северной Америке производство стали за рассматриваемый период составило 96,5 млн т, в том числе в США выросло на 3,9 %, до 68,4 млн т.

В странах Южной Америки выпуск стали увеличился до 36,2 млн т, на 7,4 %.

В странах СНГ в январе–октябре 2017 г. производство стали осталось на уровне прошлого года — 85,2 млн т, Казахстан увеличил выпуск стали на 8 %, до 3,8 млн т. Рост объема производства стали в России составил 3 %, до 60,4 млн т (по данным WSA).

По предварительным данным WSA, среднегодовая загрузка металлургических мощностей в мире в октябре 2017 г. составила 73 %, что выше уровня октября 2016 г. на 3 %.

В октябре 2017 г. загрузка мировых металлургических мощностей была выше уровня сентября 2017 г. на 0,6 %.

По данным WSA, мировое производство железа прямого восстановления (DRI) в январе–октябре 2017 г. выросло на 10 %, до 51,1 млн т, по сравнению с январем–октябрем 2016 г.

Первое место по производству DRI в январе–октябре 2017 г. занял Иран, обогнав Индию, с производством 16,4 млн т, в Индии произведено 12,9 млн т, далее следуют Мексика — 5,1 млн т и ОАЭ — 4,3 млн т.

США

По предварительным данным American Iron and Steel Institute (AISI), импорт готовой стальной продукции в США в январе–ноябре 2017 г. составил 25,14 млн т, что на 14,4 % выше объема января–ноября 2016 г.

В ноябре 2017 г. импорт проката составил 2,59 млн т, что на 1,6 % превышает показатель аналогичного месяца прошлого года, но на 8,8 % ниже объемов октября текущего года.

ЕВРОПА

По данным ассоциации Eurofer, в январе–октябре 2017 г. страны ЕС-28 сократили объемы экспорта сортового и листового проката на 6 %, до 16,7 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года

В том числе экспорт листового проката вырос на 1,6 %, до 10,7 млн т, в годовом сравнении, сортового проката сократился на 17,3 %, до 5,9 млн т.

По данным ассоциации Eurofer, страны ЕС-28 в январе–октябре 2017 г. увеличили импорт сортового и листового проката на 2,7 %, до 20 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Импорт листового проката возрос на 6,7 %, до 16,2 млн т, ввоз сортового проката сократился на 11 %, до 3,9 млн т.

ТУРЦИЯ

По прогнозу ассоциации TCUD, в 2017 г. металлургические предприятия Турции выплавят 36 млн т стали.

Рост спроса на внутреннем рынке обеспечат инвестиции в инфраструктуру.

В 2018 г. рост спроса и объемов стального производства продолжится.

По данным Turkey's Steel Exporters' Association (CIB), в январе–ноябре 2017 г. Турция увеличила экспорт металлопродук-

ции на 8,7 %, до 16,2 млн т, по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

Основные поставки в январе–ноябре 2017 г. пришлись на арматуру (5,2 млн т), горячекатаный листовой прокат (2,2 млн т).

Крупнейшим рынком сбыта для турецкой стали в этот период оставались страны ЕС (5 млн т, рост почти на 50 %), Ближнего Востока (3,7 млн т), в страны Северной Америки и Северной Африки — по 2,1 и 1,4 млн т соответственно.

ЛАТИНСКАЯ АМЕРИКА

По данным Latin American Steel Association (Alacero), в январе–сентябре 2017 г. производство стального проката выросло на 4 %, до 39,6 млн т, по сравнению с объемом января–сентября 2016 г.

Основным производителем является Бразилия — 16,6 млн т проката (42 % общего производства региона). На долю Мексики приходится 36 % (14,1 млн т) общего производства проката в регионе.

По данным Alacero, в январе–сентябре 2017 г. видимое потребление стальной продукции в странах Латинской Америки и Карибского бассейна выросло на 4 % и составило 49,8 млн т по сравнению с январем–сентябрем 2016 г.

На листовой прокат пришлось 57 % (28,6 млн т), сортовой прокат — 41 % (20,2 млн т), трубы — 2 % (944 тыс. т).

Рост потребления проката отмечался в таких странах, как Мексика, где объем потребления стальной продукции вырос на 7 %, до 1,3 млн т, по сравнению с январем–сентябрем 2016 г., Бразилия (на 5 %), Чили (на 2 %).

По данным Alacero, в январе–сентябре 2017 г. экспорт стального проката из стран Латинской Америки и Карибского бассейна составил 7 млн т, что на 6 % выше объемов января–сентября прошлого года.

В том числе на долю экспортных поставок листового проката пришлось порядка 50 % (3,5 млн т), сортового — 41 % (2,9 млн т) и бесшовных труб — 9 % (651 тыс. т). Основным экспортером оставалась Бразилия.

По данным Alacero, в январе–сентябре 2017 г. страны Латинской Америки импортировали порядка 16 млн т стального проката,

что на 10 % выше показателя января–сентября 2016 г.

Доля импортного листового проката в общем объеме ввезенного стального проката выросла и составила 70 % (11,2 млн т), сортового — 27 % (4,4 млн т) и на долю бесшовных труб пришлось 3 %. Доля импортного проката в потреблении составила около 32 %.

БРАЗИЛИЯ

По прогнозам Brazil Steel Institute (IABr), в 2017 г. металлургические предприятия увеличат выплавку стали до 34 млн т по сравнению с 2016 г.

Видимое потребление увеличится на 5,2 %, до 19,1 млн т.

По данным IABr, в январе–октябре 2017 г. металлургические предприятия увеличили производство готовой металлопродукции на 5,2 %, до 18,6 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

В том числе производство листового проката возросло на 12,4 %, до 11,4 млн т, а сортового проката сократилось на 4,4 %, до 7,3 млн т.

По данным IABr, в январе–октябре 2017 г. бразильский стальной экспорт увеличился на 14,3 %, до 12,6 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

В октябре экспорт стальной продукции вырос на 68 %, до 1,57 млн т, по сравнению с октябрем 2016 г.

По данным IABr, в январе–октябре 2017 г. бразильский импорт стальной продукции вырос на 39,1 %, до 2,02 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

ЯПОНИЯ

По данным Japan Iron and Steel Federation (JISF), в январе–октябре 2017 г. Япония сократила производство горячекатаного проката из рядовой стали на 1,4 %, до 60,22 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Снижение производства отмечалось по сортаментным группам: рельсы, крупный сорт из рядовой стали.

Производство горячекатаного проката из специальных сталей выросло на 5,5 %, до 16,98 млн т.

По данным JISF, в январе–октябре 2017 г. Япония поставила на экспорт 30,7 млн т стальной продукции, что на 8,5 % ниже по сравнению с объемом января–октября прошлого года.

Экспортные поставки проката из рядовой стали сократились на 10,9 %, до 20,4 млн т, полуфабрикатов — на 6,8 %, до 3,5 млн т, поставки проката из специальных сталей выросли на 2,3 %, до 6,8 млн т.

Основным экспортным направлением для японского стального проката оставались страны Азии, куда в рассматриваемый период было отгружено 20,3 млн т (без учета Китая). Экспорт в Китай вырос на 1,6 % (73 тыс. т). Поставки японской продукции в страны Ближнего Востока и Европу упали на 41,5 и 41,9 % соответственно, в Северную Америку — на 9,3 %, в Латинскую Америку — на 6,6 %.

По данным JISF, в январе–октябре 2017 г. Япония увеличила импорт готовой стальной продукции до 4,8 млн т, что на 5,3 % выше показателя прошлого года.

Импортные поставки стального проката из рядовой стали выросли на 10 %, до 3,8 млн т, из специальных сталей сократились на 15,9 %, до 759,1 тыс. т, по сравнению с январем–октябрем 2016 г.

Основные поставщики металлопродукции в Японию нарастили отгрузки: Южная Корея (11 %), Китай (20 %), Тайвань (2,7 %), Германия (13,3 %).

КИТАЙ

По прогнозу Китайского комитета по планированию и металлургической промышленности (Metallurgical Industry Planning and Research Institute — MPI), в 2017 г. производство стали в стране должно составить 832 млн т, что на 3 % превышает показатель предыдущего года (808 млн т).

В 2018 г. прогнозируется падение темпов до 0,7 %, объем выплавки стали может составить порядка 838 млн т.

По данным Китайского комитета по планированию и металлургической промышленности

сти (MPI), в 2017 г. потребление стали в Китае вырастет на 0,6 %, до 725 млн т.

В 2018 г. рост замедлится до 0,7 %, до 730 млн т. Нетто-экспорт стали сохранится в 2017 и 2018 г. примерно на одном уровне — 63 млн т.

При этом спрос на сталь в следующем году обеспечат строительство, машиностроение, автомобилестроение, энергетика и судостроение. Спрос со стороны строительства в 2018 г. составит 388 млн т, что на 0,3 % больше, чем в текущем году. В машиностроении — 138 млн т, рост на 1,5 %, в автомобильной промышленности — 59,5 млн т.

По данным Государственной таможни Китая, в январе–ноябре 2017 г. Китай экспортировал 69,8 млн т стальной продукции, что ниже на 30,7 % объемов января–ноября 2016 г.

В ноябре 2017 г. экспортные отгрузки стальной продукции составили 5,35 млн т, что на 34 % ниже, чем в ноябре прошлого года.

По данным Государственной таможни Китая, в январе–ноябре 2017 г. Китай импортировал 12,1 млн т стальной продукции, что практически на уровне объемов января–ноября 2016 г.

Импорт стальной продукции в ноябре в Китай достиг 1,14 млн т, это на 20 % выше объема октября 2017 г.

С 1 декабря 2017 г. власти китайской провинции Шаньси ввели новые ограничения на потребление воды металлургическими предприятиями, цементными заводами и предприятиями по производству алюминия.

Предприятия, которые превышают установленные стандарты водопотребления на 20 %, будут оплачивать воду в двойном размере. А для тех, кто будет использовать на 60 % воды больше, чем предусмотрено, вводятся штрафы — пятикратные платежи.

ИРАН

За семь первых месяцев иранского финансового года (с 21 марта по 21 октября 2017 г.) экспорт готового стального проката из Ирана составил 690 тыс. т, что на 47 % ниже уровня аналогичного периода прошлого года.

Это объясняется ростом внутреннего спроса благодаря подъему в национальном автомобилестроении и строительстве.

Однако экспорт слябов из Ирана вырос на 188 %, до 1,73 млн т, квадратной заготовки — на 28 %, до 1,79 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

За семь первых месяцев иранского финансового года (с 21 марта по 21 октября 2017 г.) импорт стальной продукции в Иран составил 1,2 млн т, что на 33 % ниже уровня аналогичного периода прошлого года.

Ввоз полуфабрикатов в страну составил 26 тыс. т, это на 83 % меньше, чем за аналогичный период предыдущего года.

БЕЛОРУССИЯ

По данным государственной статистики Республики Беларусь, индекс металлургического производства и производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в январе–октябре 2017 г. по сравнению с январем–октябрем 2016 г. составил 104,9 % (в сопоставимых ценах).

По данным государственной статистики Республики Беларусь, в январе–октябре 2017 г. производство стали составило 1989,2 тыс. т, что на 5 % выше показателей января–октября 2016 г.

Производство готового проката за рассматриваемый период составило 1791,5 тыс. т и выросло на 5,3 %, стальных труб — 139,7 тыс. т (рост на 19,3 %).

КАЗАХСТАН

По данным государственной статистики Республики Казахстан, в январе–ноябре 2017 г. индекс промышленного производства составил 107,3 % по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, в январе–ноябре 2017 г. индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, составил 105,4 % по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

Увеличилось производство продукции черной металлургии — 106,9 %.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, в январе–октябре 2017 г. металлургические компании страны выплавляли 3,82 млн т стали, что на 8,5 % выше, чем за январь–сентябрь 2016 г.

В октябре выпуск стали составил 0,38 млн т (рост на 6,7 % к прошлому году, к предыдущему месяцу — 3,9 %).

В январе–октябре 2017 г. производство листового проката сократилось на 4,7 %, до 2,42 млн т.

Производство ферросплавов в январе–октябре 2017 г. выросло на 7,5 % и составило 1,61 млн т. В октябре 2017 г. снизилось к октябрю 2016 г. на 3,6 %, до 0,55 млн т, к сентябрю 2017 г. — на 3,2 %.

УКРАИНА

По данным «Укрметаллургпром», в январе–ноябре 2017 г. украинские металлургические предприятия сократили выплавку стали на 13 % в годовом соотношении, до 19,4 млн т.

В октябре металлурги Украины выплавляли 1,87 млн т стали, что на 3 % меньше, чем за аналогичный месяц 2016 г.

Производство в январе–ноябре металлопроката уменьшилось на 15 %, до 16,7 млн т, в октябре производство проката выросло в годовом исчислении на 6 %, до 1,6 млн т.

ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ СЕКТОР

По данным Metal Bulletin, в начале декабря 2017 г. стоимость руды с 62 %-ным содержанием железа на спотовом рынке составляла 65,70 долл/т CFR с доставкой в китайский морской порт.

В августе стоимость железной руды — 80 долл/т.

По прогнозу, в 2018 г. австралийская горнорудная компания Rio Tinto увеличит объемы поставок железной руды до 330–340 млн т по сравнению с 2017 г.

По данным National Union of the Industry of Extraction of Iron and Base Metals (Sinferbase), в январе–ноябре 2017 г. Бразилия увеличила экспорт железной руды до 314,84 млн т по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

В ноябре 2017 г. бразильские горнорудные компании увеличили экспорт железной руды на 0,1 %, до 28 млн т, по сравнению с ноябрем прошлого года.

Горнорудная компания страны Vale в январе–ноябре 2017 г. экспортировала 299,7 млн т железорудного сырья, что на 4,6 % выше уровня 2016 г., ее доля в общем объеме экспорта этой продукции составила 95,2 %.

Компания Anglo American нарастила экспорт на 7,1 %, до 15,1 млн т.

Экспорт окатышей из страны увеличился на 11,4 %, до 27,27 млн т.

По предварительным данным Китайской таможенной службы, в январе–ноябре 2017 г. Китай импортировал 990,7 млн т железной руды, что на 6 % больше по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

Раздел подготовлен по материалам ОАО “Черметинформация”, следующих информационных агентств: Steelguru, Bloomberg, Sinferbase, Reuters, Metal Bulletin, MetalTorg.Ru, infogeo.ru, SteelOrbis, metallichekiy-portal.ru, “Белстат”, “Металлсервис”, BNamericas.com, Steelland, а также World Steel Association, ISSB, Joint Plant Committee, Indian Steel Ministry, Eurofer, International Stainless Steel Forum, American Iron and Steel Institute, Brazil Steel Institute, Japan Iron and Steel Federation, MEPS, SE AISI, ISIT, Istanbul Mineral and Metals Exporters' Association, Bureau of Resources and Energy Economics, Министерство промышленности и торговли Вьетнама, “Агентство Республики Казахстан по статистике”, “Агентство Республики Беларусь по статистике”.

В ноябре 2017 г. Китай импортировал 94,54 млн т железорудного сырья, что выше объемов аналогичного месяца прошлого года на 2,8 %.

По оценке МРІ, в 2017 г. потребление железной руды в Китае составит 1,122 млрд т, что на 1,3 % больше, чем в 2016 г.

В 2018 г. данный показатель уменьшится на 0,2 %, до 1,120 млрд т. Скорее всего это связано с ограничениями на производство агломерата, которые вступили в силу 15 ноября 2017 г. и продлятся до 15 марта 2018 г.

В ноябре 2017 г. стоимость коксующегося угля превысила 200 долл/т, рост с начала месяца составил 17,6 %, до 170 долл/т.

С целью снижения вредных выбросов в атмосферу в Китае реализуется государственная программа по сокращению мощностей в металлургической и угольной отраслях, что также влияет на стоимость сырья. К концу 2017 г. число угольных шахт будет сокращено до 7 тыс. по сравнению с 10,8 тыс. в 2015 г.

ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ-2017”

*Э. А. ГАРБЕР, д-р техн. наук
(ФГБОУ ВО “Череповецкий государственный университет”)*

19–20 октября 2017 г. на базе отдыха “Торово” (Череповецкий район, Вологодская область) состоялась III Международная научно-техническая конференция “Научно-технический прогресс в черной металлургии–2017”.

Организаторы конференции — компания “Северсталь” и Череповецкий государственный университет.

Конференция была организована с целью обсуждения результатов новых и перспективных разработок в черной металлургии в области теории, технологии, оборудования, автоматизации металлургических процессов и систем за последние 5 лет.

В работе конференции приняли участие более 120 представителей 7 стран (России, Украины, Швеции, Италии, Чехии, Испании и Франции), 11 университетов (Череповецкого, Высшей школы экономики, Ярославского, Московского института стали и сплавов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Магнитогорского им. Г.И. Носова, МГУ им. М.В. Ломоносова, Южно-Уральского, “Станкина”, Донецкого национального технического, Московского авиационного), 6 производственных предприятий (“Северстали”, Магнитогорского металлургического комбината, Выксунского металлургического завода, Новокраматорского машиностроительного завода, Чепецкого механического завода, Новолипецкого металлургического комбината) и 20 научно-исследовательских, проектных и научно-производственных организаций (ЦНИИЧермета им. И.П. Бардина, НИЦ “Курчатовский институт”, ЦНИИ “Прометей”, Челябинского “Гипромеза”, НИЦ “Металлургия высоких технологий”, Института черной металлургии Национальной академии наук Украины, Royal Institute of Technology (Швеция), FIVES KEODS (Франция), НИЦ автоматизированных средств конструирования, Сколковского института науки и технологий, “ИТ-Сервис”, “Северсталь-Инфоком” и др.).

Первое пленарное заседание конференции, состоявшееся 19 октября 2017 г., было организовано в виде дискуссионной панели и круглых столов по проблемной тематике, посвященной перспективам глобального развития экономики. Были заслушаны доклады: “Глобальные тренды в глобальном мире” (представлен “Форсайт-центром” при Высшей школе экономики); “Как развиваются альтернативные отрасли, компози-

ты и другие новые материалы” (НПП “Прикладные перспективные технологии”); “С какими вызовами столкнулись металлургические предприятия России и мира, как они отвечают на эти вызовы” (представлен международными фирмами “Делойт” и “ЛОГА Групп”).

Во второй день работа продолжилась на пяти секциях:

- коксогазодоменное производство, экология и переработка отходов;
- производство стали;
- производство проката;
- информационные технологии и автоматизация;
- подготовка кадров для металлургии будущего.

В общей сложности на секциях было заслушано более 60 докладов, посвященных исследованиям, усовершенствованиям, моделированию и реконструкции процессов и оборудования основных переделов металлургического производства.

На каждой секции были отмечены наиболее интересные и актуальные доклады, содержание которых способствует существенному вкладу в технический прогресс отрасли.

Большой интерес участников 1-й секции вызвали два сообщения представителей Магнитогорского металлургического комбината об оптимизации привоза железорудного и угольного сырья. Разработана оптимизационная статистическая модель, позволяющая значительно сократить запасы сырья и топлива, оптимизировать процесс смешивания компонентов шихты с целью получить продукт заданного качества с минимальной стоимостью.

Представитель фирмы Verdes, Испания, рассказал о компактном оборудовании для брикетирования пылевидных отходов методом шнековой экструзии.

Представитель Новокраматорского машиностроительного завода сообщил о разработанном мобильном оборудовании по переработке золашлаковых отвалов.

Два доклада, представленных сотрудниками Череповецкого государственного университета (ЧГУ) и ОАО “Облпромавтоматика”, были посвящены математическому моделированию доменного процесса с целью определения нужных параметров, которые в настоящее время невозможно измерить приборными методами.

Наибольший интерес участников 2-й секции вызвали следующие доклады:

- оригинальная математическая модель для прогнозирования качества слитка с учетом теплофизических свойств шлакообразующей смеси (представлен коллективом авторов из фирмы “Корад”, Сколковского института науки и технологий, МГТУ им. Н.Э. Баумана и ПАО “Северсталь”);

- повышение эффективности использования теплоты стальных слябов после МНЛЗ в нагревательных печах (представлен авторами из ЧГУ и ПАО “Северсталь”);

- впервые разработанная методика расчета мерной длины разливаемых слябов, на основе которой получены рекомендации по их экономному раскрою (разработка ученых-металлургов ЧГУ);

- пути развития производства высококачественных сталей в Швеции, изложенные в докладе представителей Стокгольмского института технологии (за счет повышения прочности изделия, изготовленные из шведской стали, на 30 % легче аналогичных изделий, изготовленных в других странах);

- совершенствование конструкции промежуточных ковшей на основе полномасштабного физического моделирования гидродинамических процессов (представлен специалистами из Италии).

На 3-й секции наибольший интерес участников вызвали доклады, посвященные разработкам методов математического моделирования и оптимизации режимов прокатки, роликовой правки и термической обработки металлов по критериям:

- наивысшие механические свойства листового проката из низколегированной стали с гарантированным уровнем твердости (ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина и ПАО “Северсталь”);

- минимальный расход электроэнергии при горячей прокатке стальных листов на широкополосном стане (ЧГУ и ПАО “Северсталь”);

- минимальная неплоскостность холоднокатаных листов (ЧГУ);

- исключение потери плоскостности горячекатаных листов в процессе их лазерной резки (ЧГУ, ПАО “Северсталь” и фирма “ТЕСИС”);

- исключение дефекта “сварка витков холоднокатаных полос” при отжиге в колпаковых печах (ПАО “Северсталь” и ЧГУ).

На 4-й секции участники детально обсудили тему “Индустрии 4.0”: что это такое, какие вызовы и возможности она несет, чем отличается от “Индустрии 3.0”, какие примеры внедрения ее элементов уже сейчас можно увидеть в компании “Северсталь” и мировой промышленности.

В качестве наиболее перспективных направлений для реализации проектов в области ИТ и автоматизации в металлургии выделили применение современных ИТ-инструментов для оценки состояния оборудования и прогнозирования его отказов, для контроля качества продукции, прогнозирования ее механических и потребительских свойств.

С докладами по этим вопросам выступили представители Физико-технического института УрО РАН, ЗАО “Ультракraft”, ЧГУ, ПАО “Северсталь”, университета “Станкин”, ЗАО “Прочность”, МИСиС, Южно-Уральского университета, Донецкого национального университета, ОАО “Северсталь-Инфоком”, Московского авиационного института.

На 5-й секции участники рассмотрели наиболее перспективные направления обучения, воспитания и совершенствования методики подготовки технических специалистов для металлургической промышленности с учетом прогнозируемых направлений ее технического прогресса. Доклады по этим вопросам сделали представители ЧГУ, ПАО “Северсталь” и Вологодского государственного университета.

В целом конференция способствовала активизации контактов и взаимодействия между вузами, научными организациями, машиностроительными и металлургическими предприятиями, что будет способствовать дальнейшему научно-техническому прогрессу в металлургии.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДЛЯ СЫРЬЯ И ОГНЕУПОРНОЙ ПРОДУКЦИИ

А. Н. СМЕРНОВ, д-р техн. наук, проф., А. Ф. ТОНКУШИН

60-й Международный коллоквиум по огнеупорам состоялся 18–19 октября 2017 г. в г. Аахен, Германия.

В его работе приняли участие около 450 специалистов из 36 стран в области производства, эксплуатации, исследований новых видов сырья и огнеупоров, а также инженеров, менеджеров,

ученых и экспертов. Между тем примерно половину участников представляли стран-организатора — Германию. Достаточно крупными делегациями (порядка 10 человек) были представлены Франция, Австрия, Польша, Россия, Турция и Китай. Всего на конференции было представлено 66 докладов, которые охватывали весь спектр проблематики, касающийся выбора сырья, производства и методов контроля качества продукции, а также создания новых видов огнеупорных материалов.

Параллельно с конференцией проходила выставка, в которой приняли участие 36 компаний, исследовательских центров и университетов.

Примечательно, что открывал конференцию пленарный доклад (д-р N. Naujok), в котором была выполнена оценка развития стальной индустрии до 2025 г. При этом развитие новых видов огнеупоров и объемы потребления увязывались докладчиком с развитием производства сталеплавильной продукции. По мнению докладчика, два важнейших стратегических шага обуславливают будущее развитие индустрии производства стали: непрерывная дигитализация бизнеса (процессы производства направлены на потребности клиента, эффективное управление неустойчивыми секторами бизнеса, оптимизация эффективности процессов в технологических операциях, дорожная карта для конкурентной дифференциации) и новые области применения продукции и услуг (повышение конкурентоспособности металлопродукции для автомобилестроения, развитие эффективности технологических процессов, улучшенное моделирование свойств новых материалов, более широкое использование стратегий патентования и пр.). Производители стали, как правило, используют пять ключевых возможностей для достижения цифрового функционирования в бизнесе: дифференциация стратегий производства металлопродукции; высокая стабильность технологических процессов; утилизация отходов при высоких показателях качества и эффективности продукции; углубленная металлургическая и инженерная экспертиза технологических процессов; фокусирование на достижении прибыли. Отмечено также, что металлургическая промышленность объединяет продукцию с инновационными технологиями для улучшения свойств основных и вспомогательных материалов.

Стратегии и глобальным тенденциям развития огнеупоров для соответствующих видов сырья был посвящен доклад д-ра T. Materne (Immerys Group). Основное место в докладе уделено новым решениям в области наливных футеровок, базирующихся на низкоцементных и бесцементных бетонах. В целом, по мнению автора, новые огнеупорные материалы продолжают успешно создавать, чему способствует расшире-

ние технологий испытания огнеупоров, в том числе и на печи роторного типа. Однако это развитие во многом зависит от ситуации на рынке сырья, которая в последнее время проявляет серьезные признаки нестабильности. Продолжают расти цены на графит, периклаз, хромовую руду и пр.

Работа конференции проходила в пяти секциях со следующей тематикой:

- коррозионное разрушение огнеупоров;
- улучшение продукции;
- технология производства;
- термостойкость;
- энергия.

Большая часть докладов, а именно 26 из 66 представленных, была посвящена различным аспектам совершенствования эксплуатационных параметров неформованных материалов для футеровки доменных печей, сталеразливочных ковшей (стены, днище) и т. п. Не останавливаясь на глубоком анализе представленных докладов, отметим, что большинство докладчиков акцентировали внимание на бетонах с низким содержанием цемента или совсем без него. При этом важным элементом являлись показатели гранулометрии, специальные добавки, а также расширение базы испытаний получаемой продукции. Несколько докладов было посвящено использованию нанодобавок и порошков.

Что касается периклазоуглеродистых формованных изделий, то здесь внимание акцентировалось на новых решениях в части добавок антиоксидантов, расширения возможностей использования вторичного сырья и т. п. Особое внимание уделялось футеровке сталеразливочного ковша, который является наиболее затратной составляющей из всей гаммы огнеупоров, используемых при производстве чугуна и стали. На практике особенно важно оптимизировать рабочий слой футеровки, предполагая, что она выполняет сложные технологические функции при ковшевой доводке стали. Помимо основной роли, относящейся к требованиям по чистоте стали, огнеупорная футеровка должна быть безопасной в части внезапного разрушения (прогара), чтобы избежать аварийной ситуации, поскольку в этом случае потери будут значительно больше.

В целом конференция показала, что в области создания новых высокоэффективных материалов и изделий наблюдается заметный прогресс. При этом основные усилия исследователей и производителей относятся к совершенствованию базовых материалов и изделий за счет расширения представлений о различного рода добавках и антиоксидантах, уточнения информации о потенциале используемого сырья и его переработки, а также корректировки технологий выплавки чугуна и стали.

17-18 октября 2017 г. в Екатеринбурге в рамках VII Уральского горнопромышленного форума Институтом горного дела УрО РАН при поддержке Правительства Свердловской области, Горнопромышленной ассоциации Урала, Уральского отделения Российской академии наук, Уральского ТУ ФАНО России, Уральского отделения Академии горных наук проведена XIV Всероссийская научно-практическая конференция “Проблемы карьерного транспорта”.

На конференции было заслушано 28 докладов, очное участие в конференции приняли более 60 человек. Присутствовали представители более 25 организаций (научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, проектных организаций, горнодобывающих предприятий, а также заводов-производителей горной техники и комплектующих для горнотранспортного оборудования).

В области циклично-поточных технологий и дробильно-размольного оборудования были рассмотрены вопросы резервов повышения эффективности процесса рудоподготовки, в том числе на примере АО “Ковдорский ГОК” (ООО НИИОГР), современные конструкции дробильно-размольного оборудования, технико-экономические преимущества и подходы к проектированию циклично-поточной технологии (ЦПТ) для карьеров, дробильно-перегрузочных установок и комплексов, использование комплексов ЦПТ в системах управления качеством рудопотоков и при комплексном освоении месторождений (ПАО “Уралмашзавод”, ИГД УрО РАН, Актюбинский региональный государственный университет).

Обсуждались актуальные проблемы карьерного транспорта и перспективы его развития: современное и перспективное транспортное оборудование производства ОАО БелАЗ; новая линейка оборудования ПАО “Уралмашзавод” для открытых горных работ, в том числе экскаваторы-мехлопаты сверхтяжелой серии и гидравлические экскаваторы; перспективы внедрения карьерных автосамосвалов с гибридными энергосиловыми установками и электромобилей, использующих аккумулялирование энергии гравитации (институт “Якутнипроалмаз” АК АЛПРОСА, ИГД УрО РАН, ОАО БелАЗ, ПАО “Уралмашзавод”); основные принципы структурирования горного и обогащительного оборудования и рационального формирования комплексов оборудования горнодобывающих предприятий (УГТУ); эффективность применения схем вскрытия с крутонаклонными автомобильными съездами (ИГД УрО РАН, институт “Уралгипроруда”); технологические и конструктивные особенности применения специальных транспортных и подъемно-транспортных машин для доставки руды из карьеров, в частности наклонные автомобильные подъемники, кабельные краны, автопоезда и др. (ИГД УрО РАН); снижение затрат на транспортирование горной массы при комбинированной разработке месторождений (ИГД УрО РАН); магистральные автосамосвалы для горнодобывающих предприятий (Scania, ИГД УрО РАН).

Обсуждены современные подходы к формированию транспортных систем карьеров, оценке эффективности системы технического обслуживания и ремонта и эффективные мероприятия по их совершенствованию (ОАО “Ураласбест”, ООО НИИОГР); особенности проектирования горнодобывающих предприятий в сложных горнотехнических, рельефных и социально-экономических условиях (институт “Уралгипроруда”, ООО “Геотехноген-проект”, ИГД УрО РАН); методика тормозных испытаний подвижного состава карьерного железнодорожного транспорта (ИГД УрО РАН); вопросы применения современных методов компьютерного моделирования для повышения точности проектирования и расчета параметров карьеров и технологического транспорта (ИГД УрО РАН).

УДК 553.04:553.3/4

**ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ РОССИИ. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА:
СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Л. П. ТИГУНОВ, В. С. ПИКАЛОВА, pikalova@vims-geo.ru; Л. З. БЫХОВСКИЙ, д-р геол.-мин. наук
(ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского")*

Рассмотрены состояние, использование и перспективы развития отечественной минерально-сырьевой базы марганца, хрома, никеля, ванадия, ниобия, молибдена, вольфрама, стронция и обеспеченность российской металлургической промышленности данным сырьем. Дана краткая характеристика мировых рынков данных видов полезных ископаемых.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база; легирующие металлы; балансовые запасы; обеспеченность; импорт; экспорт.

**THE ALLOYING METALS IN RUSSIA. THE MINERAL AND RAW MATERIALS BASE IN RUSSIA:
THE STATUS, UTILIZATION, PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT**

*L. P. TIGUNOV, V. S. PIKALOVA, pikalova@vims-geo.ru; L. Z. BYKHOVSKIY, Higher Doctorate (Geology)
(FGBU "Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Mineral'nogo Syr'ya im. N.M. Fedorovskogo")*

The status, utilization, and prospects for the development of the domestic mineral and raw materials base of the manganese, chromium, nickel, vanadium, niobium, molybdenum, tungsten, strontium have been considered. The self-sufficiency in these raw materials for the Russian metallurgical industry has been described. The brief characteristics of the international markets for these kinds of the useful minerals have been presented.

Key words: mineral and raw materials base, alloying metals, balance reserves, self-sufficiency, imports, exports.

УДК 622.7

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОБОГАТИМОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ
НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ**

*В. В. КАРМАЗИН, д-р техн. наук, karmazin@mail.ru
(ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСЦ")*

Рассмотрены особенности и проблемы математического моделирования обогащательных технологий. Показано, что в процессах обогащения полезных ископаемых главным принципом техники и технологии остается достижение максимальной степени раскрытия при минимальной степени измельчения, а на основе анализа результатов раскрытия минералов пробы можно не только оценить потенциальные показатели обогащения руд данного месторождения, но и определить пути их достижения для действующих и проектируемых горно-обогащательных комбинатов.

Ключевые слова: горнорудное производство; обогащение полезных ископаемых; обогатимость железорудного сырья; вкрапленность минералов; параметры раскрытия минералов; кривые обогатимости и граница разделения.

THE EVALUATION OF THE POTENTIAL WASHABILITY OF THE IRON ORE RAW MATERIALS ON THE BASIS OF THE MINERAL BREAKING-DOWN PARAMETERS

*V. V. KARMAZIN, Higher Doctorate (Tech), karmazin@mail.ru
(FGAOU VO "Natsional'nyi Issledovatel'skiy Tekhnologicheskii Universitet 'MISiS'")*

The special features and problems in the mathematical modeling of the concentration technologies have been considered. It has been shown that in the processes of the useful minerals concentration, the achievement of the maximal breaking-down degree in case of the minimal grinding degree remains the main principle of the equipment and technology. And on the basis of the results of the minerals breaking-down, it is possible not only to evaluate the potential concentration indicators of the given deposit ores but also to determine their achievement ways for the existing and designed mining and concentration complexes.

Key words: mining production, useful minerals concentration, iron ore raw materials washability, minerals impregnation, washability curves and separation limit.

УДК 669.162.16

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе

*Ю. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, uaf.39@mail.ru;
Л. И. КАПЛУН, д-р техн. наук, проф.
(ООО "НПП "Уралэлектра")*

Представлен анализ процесса охлаждения агломерата на линейных/кольцевых охладителях с использованием трехмерной (динамической) математической модели. Рассмотрено влияние условий формирования слоя агломерата по фракционному составу, высоте, начальной температуре, характеристикам дутьевых вентиляторов, температуре окружающей среды на процесс его охлаждения.

Ключевые слова: агломерационное производство; охлаждение агломерата на линейных/кольцевых охладителях; условия формирования слоя агломерата; способы загрузки агломерата на охладитель; математическая модель процесса охлаждения агломерата.

THE STATUS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING THE SINTER

The Part 9. The Analysis of the Process of Cooling the Sinter in the Linear Cooler

*Yu. A. FROLOV, Higher Doctorate (Tech), uaf.39@mail.ru;
L. I. KAPLUN, Higher Doctorate (Tech), Professor
(ООО "NPP "Uralelectra")*

The analysis results of the process of cooling the sinter in the linear/annular coolers using the three-dimensional mathematical model have been presented. The influences of the formation conditions of the sinter layer in the gravimetric composition, height, initial temperature, the blasting condition characteristics of the fan groups, the environmental temperature on the process of its cooling have been considered.

Key words: sintering and blast furnace processes, sinter cooling in linear/annular coolers, sinter layer formation conditions, methods of sinter charging on cooler, sinter cooling process mathematical model.

ПОДГОТОВКА К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА ТИТАНА

*А. Н. ДМИТРИЕВ, д-р техн. наук, andrey.dmitriev@mail.ru; Р. В. ПЕТУХОВ
(ФГБУН “Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук”)*

Приведены результаты лабораторных исследований по моделированию пошагового вовлечения в переработку титаномагнетитовых руд с повышенным содержанием диоксида титана.

Показано, что увеличение содержания диоксида титана в окатышах не вызывает ухудшения качества доменного железорудного сырья. За счет увеличения прочности на сжатие сырых и сухих окатышей, прочности на сжатие обожженных при 1300 °С окатышей, увеличения горячей прочности и др. возможно улучшение основных технико-экономических показателей доменной плавки — расхода кокса и производительности доменных печей.

Ключевые слова: доменная плавка; железорудные окатыши; титаномагнетитовый концентрат; содержание диоксида титана; показатели качества окатышей.

THE PREPARATION FOR THE BLAST FURNACE HEAT OF THE TITANOMAGNETITE CONCENTRATES WITH THE VARIOUS CONTENTS OF THE TITANIUM DIOXIDE

*A. N. DMITRIEV, Higher Doctorate (Tech), andrey.dmitriev@mail.ru; R. V. PETUKHOV
(FGBUN “Institut Metallurgii Ural’skogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Nauk”)*

The results of the laboratory investigations into modeling the step-by-step involvement of the titanomagnetite ores into the treatment have been presented. The ores have been characterized by the increased content of the titanium dioxide.

It has been shown that the increase in the content of the titanium dioxide in the pellets do not leads to the deterioration of the quality of the iron ore raw materials for the blast furnace. Due to the increase in the compression strength of the dry and raw pellets, the compression strength of the pellets fired at 1300 °C, due to the increase in the hot strength and others, the improvement in the main technical and economic indicators of the blast furnace heat is possible. The indicators such as the coke consumption and productivity of the blast furnace can be improved.

Key words: blast furnace heat, iron ore pellets, titanomagnetite concentrates, titanium dioxide content, pellet quality indicators.

ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ, ЗАГРУЖАЕМОЙ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

*С. К. СИБАГАТУЛЛИН, д-р техн. наук, 10tks@mail.ru; А. С. САВИНОВ, д-р техн. наук;
А. С. ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук; Л. Д. ДЕВЯТЧЕНКО, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО “Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова”)*

Представлены результаты исследования источников неравномерного распределения компонентов шихты при выпуске их из бункера бесконусного загрузочного устройства лоткового типа в колошниковое пространство печи. Показано, что возможно снижение удельного расхода кокса за счет совершенствования распределения компонентов шихты до 7 %.

Ключевые слова: доменная печь; бесконусное загрузочное устройство; лотковый распределитель; железорудные материалы; совершенствование распределения компонентов шихты; снижение удельного расхода кокса.

REVEALING THE SOURCES OF THE NON-UNIFORM DISTRIBUTION OF THE COMPONENTS OF THE IRON ORE CHARGED INTO THE BLAST FURNACE

S. K. SIBAGATULLIN, Higher Doctorate (Tech), 10tks@mail.ru; A. S. SAVINOV, Higher Doctorate (Tech); A. S. KHARCHENKO, PhD (Tech); L. D. DEVYATCHENKO, PhD (Tech) (FGBOU VO "Magnitogorskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskiy Universitet im. G.I. Nosova")

The results of the investigation into the sources of the non-uniform distribution of the components of the charge materials during their discharge from the hopper have been presented. The components are discharged from the hopper of the bell-less charging device of the chute type and are directed into the top space of the blast furnace. It has been shown that the 7 % decrease in the specific consumption of the coke due to improvement in the distribution of the components of the charge materials is possible.

Key words: blast furnace, bell-less charging device, chute type distributor, iron ore materials, improvement in charge material components distribution, decrease in specific coke consumption.

УДК 669.181

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОВОЗГОРАНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА

A. С. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук, dakatuli@bk.ru; T. V. НИКИТЧЕНКО, канд. техн. наук; В. В. ФЕДИНА, канд. техн. наук; Л. Н. КОРОТКОВА (Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС")

Представлены результаты испытаний по определению температуры самовозгорания для горячбрикетированного железа различного класса крупности.

Ключевые слова: железо прямого восстановления; горячбрикетированное железо; металлизированный продукт; скорость вторичного окисления; температура самовозгорания.

THE INVESTIGATION INTO THE TEMPERATURE OF THE SPONTANEOUS IGNITION OF THE IRON-RICH PRODUCT

A. S. TIMOFEEVA, PhD (Tech), dakatuli@bk.ru; T. V. NIKITCHENKO, PhD (Tech); V. V. FEDINA, PhD (Tech); L. N. KOROTKOVA (A.A. Ugarov Staryi Oskol Technological Institute (branch) of the FGAOU VO "Natsional'nyi Issledovatel'skiy Universitet 'MISiS'")

The results of the tests for determining the temperature of the spontaneous ignition of the hot-briquetted iron with the various grain size categories have been presented.

Key words: direct reduced iron, hot-briquetted iron, iron-rich product, secondary oxidation speed, spontaneous ignition temperature.

УДК 669.84.244.66

КАРТИНА ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ

A. Г. ЧЕРНЯТЕВИЧ¹, д-р техн. наук, проф., agchern@ua.fm; Е. Н. СИГАРЕВ², д-р техн. наук, проф.; Л. С. МОЛЧАНОВ¹, канд. техн. наук; В. В. ВАКУЛЬЧУК¹, П. О. ЮШКЕВИЧ¹, К. И. ЧУБИН², канд. техн. наук; М. К. ЧУБИН² (¹ Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина; ² Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина)

Представлена информация об особенностях формирования реакционной зоны взаимодействия сверхзвуковых кислородных струй с конвертерной ванной, дожигания выделяющегося из нее потока

монооксида углерода дозвуковыми кислородными струями при различном уровне вспененной шлако-металлической эмульсии в полости конвертера.

Ключевые слова: кислородный конвертер; продувка конвертерной ванны; двухъярусная кислородная фурма; дожигание отходящих газов.

THE PICTURE OF BLOWING THE BATH OF THE BASIC OXYGEN FURNACE WITH THE USE OF THE DOUBLE-DECK OXYGEN LANCE

*A. G. CHERNYATEVICH¹, Higher Doctorate (Tech), Professor, agchern@ua.fm;
E. N. SIGAREV², Higher Doctorate (Tech), Professor; L. S. MOLCHANOV¹, PhD (Tech);
V. V. VIKAL'CHUK¹, P. O. YUSHKEVICH¹, K. I. CHUBIN², PhD (Tech); M. K. CHUBIN²
(¹ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Industry Institute of Ukrainian National Academy of Sciences, Dnepr City, Ukraine;
² Dnepr State Technical University. Kamenskoe town, Ukraine)*

The information on the special features in the formation of the reaction zone during the interaction between the supersonic oxygen jets and the basic oxygen furnace bath, on the post combustion of the carbon monoxide flow evolved from the bath has been presented. The post combustion occurs due to the interaction between the flow and the subsonic oxygen jets at the various levels of the foamed slag and metallic emulsion in the cavity of the basic oxygen furnace.

Key words: basic oxygen furnace, basic oxygen furnace bath blowing, double-deck oxygen lance, off-gas post combustion.

УДК 669.168

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ФОСФОРА ИЗ КАРБОНАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

*И. Д. РОЖИХИНА¹, д-р техн. наук; О. И. НОХРИНА^{1,2}, д-р техн. наук;
М. А. ГОЛОДОВА¹, канд. техн. наук, golodova_ma@mail.ru
(¹ ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”,
² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)*

На основе исследования процесса рассыпаемости марганцевых сплавов показана возможность получения ферромарганца с пониженным содержанием фосфора и углерода из марганцевых карбонатных руд Усинского месторождения.

Ключевые слова: среднеуглеродистый ферромарганец; рассыпаемость марганцевых сплавов; получение ферромарганца с пониженным содержанием фосфора и углерода; марганцевые карбонатные руды Усинского месторождения.

THE INVESTIGATION INTO THE OPPORTUNITY FOR PRODUCING THE FERROMANGANESE WITH THE DECREASED CONTENTS OF THE CARBON AND PHOSPHORUS FROM THE CARBONATE MANGANESE ORES

*I. D. ROZHIKHINA¹, Higher Doctorate (Tech); O. I. NOKHRINA^{1,2}, Higher Doctorate (Tech);
M. A. GOLODOVA¹, PhD (Tech), golodova_ma@mail.ru
(¹ FGBOU VO “Sibirskiy Gosudarstvennyi Industrial'nyi Universitet”,
² Yurga Technological Institute (branch) at Tomsk Polytechnical University)*

On the basis of the investigation into the process of slaking the manganese alloys, the opportunity for producing the ferromanganese with the decreased contents of the carbon and phosphorus has been shown. The ferromanganese can be produced from the carbonate manganese ores mined at the Usinskoe deposit.

Key words: medium carbon ferromanganese, manganese alloys slaking effect, producing ferromanganese with decreased carbon and phosphorus contents, carbonate manganese ores at Usinskoe deposit.

**УЛУЧШЕНИЕ ПЛОСКОСТНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС
ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИИ
ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

*М. А. ТИМОФЕЕВА, канд. техн. наук; Э. А. ГАРБЕР, д-р техн. наук
(ФГБОУ ВО "Череповецкий государственный университет")*

Представлены результаты разработки, испытания и внедрения в производство метода улучшения плоскостности холоднокатаных полос, предусматривающего использование математической модели для расчета влияния нестабильных факторов технологии горячей и холодной прокатки на показатели неплоскостности и определения технологических приемов, уменьшающих эту нестабильность.

Ключевые слова: технология горячей и холодной прокатки; горячекатаный подкат; холоднокатаный лист; плоскостность проката; коэффициент вытяжки; нестабильные параметры технологии прокатки.

**THE IMPROVEMENT IN THE FLATNESS OF THE COLD-ROLLED STRIPS BY MEANS OF THE
ACTION ON THE NON-STABLE PARAMETERS OF THE HOT AND COLD ROLLING TECHNOLOGY**

*M. A. TIMOFEEVA, PhD (Tech); E. A. GARBER, Higher Doctorate (Tech)
(FGBOU VO "Cherepovetskiy Gosudarstvennyi Universitet")*

The results of the development, test, and manufacturing application of the method of the improvement in the flatness of the cold-rolled strips have been presented. The method provides the utilization of the mathematical model for calculating the influence of the non-stable factors of the hot and cold rolling technology on the non-flatness indicators. The mathematical model is used for determining the manufacturing methods decreasing this non-stability as well.

Key words: hot and cold rolling technology, hot-rolled semi-stock, cold rolled sheet, rolled product flatness, lengthening coefficient, non-stable rolling technology parameters.

**РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА
ИЗ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ С355П,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*С. П. ЗУБОВ, А. А. ПРИДЕИН, a.pridein@uralsteel.com;
Л. В. ПРОКОПЕНКО, Н. И. СИНДЯНОВ
(АО "Уральская сталь")*

В условиях стана 2800 разработана технология производства листового проката класса прочности С355П, предназначенного для изготовления строительных конструкций с повышенной огнестойкостью. Показано, что микролегирование, контролируемая прокатка в сочетании с ускоренным последовательным охлаждением обеспечивают заданный комплекс механических, вязких и технологических характеристик проката.

Ключевые слова: производство листового проката; микролегирование; ускоренное охлаждение; тугоплавкость; контролируемая прокатка; огнестойкость.

THE DEVELOPMENT AND MASTERING THE PRODUCTION OF THE ROLLED SHEET PRODUCTS FROM THE STEEL WITH THE IMPROVED FLAME RESISTANCE AND WITH THE C355P STRENGTH CLASS, WHICH IS DESIGNED FOR THE BUILDING CONSTRUCTIONS

*S. P. ZUBOV, A. A. PRIDEIN, a.pridein@uralsteel.com;
L. V. PROKOPENKO, N. I. SINDYANOV
(AO "Ural'skaya Stal")*

The technology for manufacturing the rolled sheet products with the C355P strength class under the 2800 mill conditions has been developed. The rolled sheet products are designed for manufacturing the building constructions with the improved flame resistance. It has been shown that microalloying, controlled rolling in the combination with the accelerated post-deformation cooling provide the preset complex of the mechanical, tough, and technological characteristics of the rolled sheet products.

Key words: rolled sheet products manufacturing, microalloying, accelerated cooling, refractory quality, controlled rolling, flame resistance.

УДК 669.14.018:41:669–413

ВЛИЯНИЕ ТРУБНОГО ПЕРЕДЕЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ V–N

*V. V. NAUMENKO, канд. техн. наук, naumenko_vv@vsw.ru;
O. A. BAGMET, канд. техн. наук; O. A. BARANOVA
(АО "Выксунский металлургический завод")*

Приведены результаты сравнительных испытаний опытного рулонного проката системы микролегирувания V–N толщиной 8 мм различного класса прочности и труб из него диам. 325, 426 мм.

В результате проведенных исследований показано, что рулонный прокат системы микролегирувания V–N может применяться для производства в АО ВМЗ электросварных труб различных классов прочности с требованиями по хладостойкости в качестве замены ниобиевым аналогам за счет более низкой себестоимости.

Ключевые слова: рулонный прокат; трубный передел; электросварные трубы; система микролегирувания V–N; микроструктура и механические свойства рулонного проката.

THE INFLUENCE OF THE TUBULAR PROCESSING ON THE VARIATION OF THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE COILED STOCK WITH THE V–N MICROALLOYING SYSTEM

*V. V. NAUMENKO, PhD (Tech), naumenko_vv@vsw.ru;
O. A. BAGMET, PhD (Tech); O. A. BARANOVA
(AO "Vyksunskiy Metallurgicheskiy Zavod")*

The results of the comparative tests of the experimental rolled products in coils of the V–N microalloying system with the 8 mm thickness and with the various strength classes as well as the pipes from them with the 325, 426 mm diameters have been presented. As a results of the performed investigations, it has been shown that the rolled products in coils of the V–N microalloying system can be applied to manufacture the electrically welded pipes with the various strength classes, which meet the cold resistance requirements, and can replace the niobium-containing analogous rolled products due to the lower cost.

Key words: rolled products in coils, tubular processing, electrically welded pipes, V–N microalloying system, microstructures and mechanical properties of rolled products in coils.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ИЗВЕСТИ ИЗ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

*С. П. ЕРОНЬКО¹, д-р техн. наук, ersp@meta.ua; М. Ю. ТКАЧЕВ¹, канд. техн. наук;
Е. Н. СМІРНОВ², д-р техн. наук; В. А. СКЛЯР², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”)*

Приведен литературный обзор и результаты патентного поиска существующих конструкций систем и устройств, осуществляющих выгрузку обожженной извести из шахтных печей. Представлены результаты экспериментальной проверки на физической модели равномерности выгрузки извести из печи с устройством новой конструкции. Показано, что предложенное усовершенствование системы выгрузки позволяет улучшить условия работы известково-обжигательной печи за счет стабилизации режимов движения в ней исходного сырья и готового продукта.

Ключевые слова: обжиг извести в шахтной печи; выгрузка обожженной извести; равномерность выгрузки извести; стабилизация режимов; тензорезисторный преобразователь.

THE DEVELOPMENT OF THE OUTLOADING SYSTEM OF THE LIME FROM THE SHAFT FIRING FURNACE

*S. P. ERON'KO¹, Higher Doctorate (Tech), ersp@meta.ua; M. Yu. TKACHEV¹, PhD (Tech);
E. N. SMIRNOV², Higher Doctorate (Tech); V. A. SKLYAR², PhD (Tech)
(¹ GOU VPO “Donetskiy Natsional'nyi Tekhnicheskii Universitet”,
² A.A. Ugarov Staryi Oskol Technological Institute (branch) of
the FGAOU VO “Natsional'nyi Issledovatel'skiy Tekhnologicheskii Universitet ‘MISiS’”)*

The literature review and the results of the patent searches of the existing designs of the systems and devices performing the fire lime outloading from the shaft furnaces have been presented. The results of the experimental checking of the uniformity of the lime outloading from the shaft furnace with the new design device have been presented as well. It has been shown that the proposed improvement in the system for the lime outloading makes it possible to improve the operation conditions of the due to the stabilization of the movement conditions of the initial raw materials and finished product in it.

Key words: lime firing in shaft furnace, fired lime outloading, lime outloading uniformity, conditions stabilization, resistance strain gage converter.

РАЗРАБОТКА НОВОГО СОСТАВА СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО И УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

*А. В. КОЛОКОЛЬЦЕВ, д-р техн. наук; М. Г. ПОТАПОВ, канд. техн. наук; А. В. МИХАЙЛОВ,
М. В. ПОТАПОВА, канд. техн. наук, marina_potarova8@mail.ru; И. В. МАКАРОВА, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО “Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова”)*

Приведены результаты эксперимента по разработке нового состава абразивно-ударного износостойкого чугуна. Получены адекватные математические зависимости свойств сплава от химического состава. Состав чугуна рекомендован для деталей специального назначения.

Ключевые слова: литейное производство; детали специального назначения; специальный чугун; абразивно-ударный износостойкий чугун; математические зависимости свойств сплава.

THE DEVELOPMENT OF THE NEW COMPOSITION OF THE SPECIAL CAST IRON FOR THE CASTINGS OPERATED UNDER THE ABRASIVE AND IMPACT-ABRASIVE WEAR CONDITIONS

A. V. KOLOKOL'TSEV, Higher Doctorate (Tech); M. G. POTAPOV, PhD (Tech); A. V. MIKHAILOV, M. V. POTAPOVA, PhD (Tech), marina_potapova8@mail.ru; I. V. MAKAROVA, PhD (Tech) (FGBOU VO "Magnitogorskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskiy Universitet im. G.I. Nosova")

The results of the experiment for developing the new composition of the impact-abrasive wear resistant cast iron have been presented. The adequate mathematical dependences of the alloy properties on the chemical composition have been obtained. The cast iron composition has been recommended for the parts for the special purpose.

Key words: foundry practice, parts for special purpose, special cast iron, impact-abrasive wear resistant cast iron, mathematical dependences of alloy properties.

УДК 669.02/09

ОСОБЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

V. A. SIDOROV, д-р техн. наук, sidorov_ya@ukr.net (ГОУ ВПО "Донецкий национальный технический университет")

Рассмотрены некоторые особенности структуры и решаемых задач стационарными системами контроля вибрационных параметров металлургических машин. Показано, что существующие отличия в режимах эксплуатации, конструкции, технического обслуживания и ремонта металлургических машин требуют индивидуальных решений.

Ключевые слова: металлургические машины; техническое состояние; контроль параметров вибрации; стационарные системы вибрационного контроля.

THE SPECIAL FEATURES IN THE STEADY-STATE SYSTEMS FOR THE VIBRATION MONITORING OF THE METALLURGICAL MACHINERY

V. A. SIDOROV, Higher Doctorate (Tech), sidorov_ya@ukr.net (GOU VPO "Donetskiy Natsional'nyi Tekhnicheskiy Universitet")

The some special features in the structure and solved problems using the stead-state systems for monitoring the vibration parameters of the metallurgical machinery have been considered. It has been shown that the existing differences in the operation conditions, designs, maintenance, and repair of the metallurgical machinery require the individual solutions.

Key words: metallurgical machinery, engineering status, vibration parameters monitoring, stead-state systems for vibration monitoring.

УДК 66.041.49

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ДИФФУЗИОННОГО ФАКЕЛА НА ТЕПЛОПЕРЕНОС ПРИ ОБЖИГЕ СЫПУЧИХ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

И. В. ПРОСВЕТОВ, В. Д. КОРШИКОВ, д-р техн. наук, korshvd@mail.ru; И. Н. ЧМЫРЕВ, канд. техн. наук (ФГБОУ ВО "Липецкий государственный технический университет")

Изложены результаты расчетов обжига декарбонизованных сыпучих материалов во вращающейся печи при изменении длины диффузионного факела. Показано, что увеличение длины диффузионного факела позволяет увеличивать длину зоны обжига, а значит и его качество.

Ключевые слова: обжиг сыпучих материалов во вращающейся печи; образование диффузионного факела; теплоперенос от факела к технологическому материалу и футеровке; математическая модель обжига.

THE INFLUENCE OF THE LENGTH OF THE DIFFUSION FLAME ON THE HEAT TRANSFER IN THE PROCESS OF FIRING THE GRANULAR MATERIALS IN THE ROTARY FURNACE

*I. V. PROSVETOV, V. D. KORSHIKOV, Higher Doctorate (Tech), korshvd@mail.ru;
I. N. CHMYREV, PhD (Tech)
(FGBOU VO "Lipetskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskiy Universitet")*

The results of the calculations of firing the decarbonized granular materials in the rotary furnace during the variation of the diffusion flame length have been presented. It has been shown that the increase in the length of the diffusion flame makes it possible to increase the length of the firing zone and therefore to improve its quality.

Key words: granular materials firing in rotary furnace, diffusion flame formation, heat transfer from flame to technological material and lining, mathematical firing model.

СТАТИСТИКА*

ОСНОВНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Показатель	Сентябрю 2017 г.	В % к		Январь– сентябрь 2017 г. в % к январю– сентябрю 2016 г.	Справочно		
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.		сентябрь 2016 г. в % к		январь– сентябрь 2016 г. в % к январю– сентябрю 2015 г.
					сентябрю 2015 г.	августу 2016 г.	
Валовой внутренний продукт, млрд руб.	41782,1 ¹⁾	101,5 ²⁾			99,5 ³⁾		
Индекс выпуска товаров и услуг по базовым видам экономической деятельности		102,4	107,0	102,2	99,9	107,2	100,4
Индекс промышленного производства ⁴⁾		100,9	101,0	101,8	100,1	101,7	101,2
Продукция сельского хозяйства, млрд руб.	1236,0	108,5	171,4	103,8	104,7	166,1	104,7
Грузооборот транспорта, млрд т·км	452,3	102,9	98,4	106,8	104,1	103,2	101,8
в том числе железнодорожного транспорта	203,5	104,2	97,4	106,6	101,4	98,3	101,5
Объем услуг в сфере телекоммуникаций, млрд руб.	140,4	98,6	99,1	98,6			
Оборот розничной торговли, млрд руб.	2570,0	103,1	99,3	100,5	96,9	98,1	95,5
Объем платных услуг населению, млрд руб.	750,2	100,4	99,5	100,2	99,4	98,4	99,5
Внешнеторговый оборот, млрд долл.	51,3 ⁵⁾	123,4 ⁶⁾	112,8 ⁷⁾	126,4 ⁸⁾	100,8 ⁶⁾	107,6 ⁷⁾	81,3 ⁸⁾
В том числе:							
экспорт товаров	29,0	125,3	117,1	126,4	92,3	102,9	74,3
импорт товаров	22,4	121,0	107,6	126,4	113,8	114,0	94,5
Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	5723,7 ⁹⁾	104,8 ²⁾			98,6 ³⁾		
Индекс потребительских цен		103,0	99,9	104,1	106,4	100,2	107,5
Индекс цен производителей промышленных товаров ⁴⁾		106,8	102,4	107,5	104,4	100,4	104,2
Реальные располагаемые денежные доходы ¹⁰⁾		99,7	100,4	98,8	97,3	100,5	94,4
Среднемесячная начисленная заработная плата работников организаций:							
номинальная, руб.	37520 ¹⁰⁾	105,6 ¹⁰⁾	101,0 ¹⁰⁾	106,7 ¹⁰⁾	108,5	101,2	107,9
реальная		102,6 ¹⁰⁾	101,2 ¹⁰⁾	102,5 ¹⁰⁾	101,9	101,0	100,4
Общая численность безработных (в возрасте 15–72 лет), млн чел.	3,8	95,0	100,6	93,2	99,6	99,5	101,4
Численность официально зарегистрирован- ных безработных (по данным Роструда), млн чел.	0,7	84,9	94,7	85,2	93,8	94,8	101,5
1) Данные за I полугодие 2017 г. (первая оценка).							
2) I полугодие 2017 г. в % к I полугодию 2016 г.							
3) I полугодие 2016 г. в % к I полугодию 2015 г.							
4) По видам деятельности "Добыча полезных ископаемых", "Обработка производств", "Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха", "Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений" ОКВЭД2.							
5) Данные за август 2017 г.							
6) Август 2017 г. и август 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.							
7) Август 2017 г. и август 2016 г. в % к предыдущему месяцу, в фактически действовавших ценах.							
8) Январь–август 2017 г. и январь–август 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.							
9) Данные за I полугодие 2017 г.							
10) Оценка.							

*Использованы данные Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

**ОБОРОТ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
в действующих ценах**

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г., млрд руб.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Всего	13554,8	106,1	100,1	109,1
Добыча полезных ископаемых	1137,9	109,3	98,2	117,5
В том числе:				
добыча угля	107,7	136,7	104,0	149,9
добыча сырой нефти и природного газа	733,6	108,4	97,1	117,0
добыча металлических руд	100,1	96,5	98,4	109,8
добыча прочих полезных ископаемых	47,6	81,6	96,5	89,7
Обрабатывающие производства	3488,5	106,9	101,1	108,7
В том числе:				
производство пищевых продуктов	419,0	94,9	102,1	100,3
производство напитков	67,7	97,2	89,0	95,0
производство табачных изделий	22,3	92,1	48,4	90,2
производство текстильных изделий	17,2	95,6	101,7	99,7
производство одежды	19,3	101,6	102,2	110,8
производство кожи и изделий из кожи	6,2	104,7	96,8	109,4
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	46,6	102,0	95,6	100,6
производство бумаги и бумажных изделий	80,3	97,4	100,7	95,1
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	20,0	99,5	99,3	100,8
производство кокса и нефтепродуктов	863,1	113,3	97,7	116,8
производство химических веществ и химических продуктов	199,9	100,7	96,2	101,4
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	50,4	103,2	138,0	116,5
производство резиновых и пластмассовых изделий	84,6	97,7	96,2	101,8
производство прочей неметаллической минеральной продукции	131,6	104,2	94,0	105,3
производство металлургическое	448,8	103,8	97,1	108,9
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	199,1	101,6	108,7	104,6
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	117,4	112,5	120,4	106,9
производство электрического оборудования	94,5	102,6	108,1	106,7
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	113,0	105,2	102,7	109,0
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	208,8	124,9	115,6	129,8
производство прочих транспортных средств и оборудования	175,2	154,2	116,0	120,0
производство мебели	19,5	98,0	98,8	102,9
производство прочих готовых изделий	15,2	88,8	102,2	97,0
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	636,4	111,5	107,7	108,5
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	91,3	118,5	104,0	114,9
Строительство	641,3	101,4	100,2	104,2

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Электроэнергия, млрд кВт·ч	83,7	101,4	100,1	101,1
Пар и горячая вода, млн Гкал	56,2	96,1	124,6	103,4
Нефтедобывающая				
Нефть сырая, включая газовый конденсат, млн т	44,4	97,4	96,1	100,5
Нефтеперерабатывающая				
Нефть, поступившая на переработку (первичная переработка нефти), млн т	22,7	98,9	92,3	100,4
Бензин автомобильный, млн т	3,2	103,1	91,8	97,9
Дизельное топливо, млн т	6,0	101,9	87,8	102,1
Топочный мазут, млн т	3,6	84,0	92,6	92,5
Газовая				
Газ горючий природный (газ естественный), млрд м ³	47,6	107,3	101,3	113,3
Газ нефтяной попутный (газ горючий природный нефтяных месторождений), млрд м ³	6,8	97,7	91,5	101,7
Угольная				
Уголь, млн т	35,4	109,2	104,1	107,3
В том числе:				
каменный	28,2	105,0	98,3	107,7
бурый рядовой (лигнит)	7,2	129,1	134,8	105,3
Уголь каменный и бурый обогащенный, млн т	10,1	95,4	95,9	101,2

ОБЪЕМ ПОГРУЗКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ¹⁾, млн т

Продукция	Сентябрь 2016 г.	Январь– сентябрь 2016 г.	Декабрь 2016 г.	Январь– декабрь 2016 г.	Сентябрь 2017 г.	Январь– сентябрь 2017 г.
Грузы, всего	102416,9	915051,5	105561,5	1226951,1	104294,3	941251,3
В том числе:						
каменный уголь	26709,4	242311,0	31318,1	331124,7	28823,9	265308,5
кокс	1020,0	8747,3	1003,1	11711,4	913,3	8432,1
нефть и нефтепродукты	18195,7	175017,1	21561,7	236180,8	18537,8	175401,4
руда железная и марганцевая	9386,4	82572,6	9069,9	109537,0	9086,5	82387,3
руды цветных металлов и серное сырье	1854,3	16079,4	1613,2	21081,1	1528,6	15294,6
черные металлы	5577,4	52838,5	6353,8	71013,8	6106,9	53485,5
лом черных металлов	1442,6	11008,3	1216,1	15028,4	1546,5	11463,8
химические и минеральные удобрения	4344,9	39355,9	4994,0	53471,5	4509,5	42464,4
строительные грузы	13284,0	111406,0	8479,0	141339,2	11683,1	102073,1
цемент	2712,1	21362,3	1286,1	26657,1	2762,3	21215,4
лесные грузы	3200,0	32169,5	3709,8	42220,9	3396,1	33404,4
зерно и продукты						
перемола	2050,6	14821,2	2337,3	21611,9	2421,7	16462,7
комбикорма	90,9	723,9	92,3	998,5	83,7	763,5
импортные грузы	753,3	6272,9	729,3	8418,5	925,1	7312,7
рыба	26,7	237,4	54,6	361,3	21,7	238,7
прочие грузы	11768,2	100124,7	11743,2	136195,0	11947,7	105543,3

1) По данным ОАО РЖД.

ТОВАРНЫЙ СОСТАВ ЭКСПОРТА

Продукция	Август 2017 г.	В % к		Январь– август 2017 г. в % к январю– августу 2016 г.	Справочно		
		августу 2016 г.	июлю 2017 г.		август 2016 г. в % к		январь– август 2016 г. в % к январю– августу 2015 г.
					августу 2015 г.	июлю 2016 г.	
Рыба свежая и мороженая, тыс. т ¹⁾	174,8	90,4	116,8	120,4	120,0	147,1	93,8
Ракообразные и моллюски, тыс. т ¹⁾	6,7	117,5	66,0	141,4	141,5	72,0	105,9
Пшеница и меслин, тыс. т	3934,9	127,6	в 2,8 р.	119,9	107,3	195,3	144,3
Мука пшеничная или пшенично-ржаная, тыс. т	19,8	87,1	122,1	68,9	71,2	в 2,9 р.	103,8
Крупа, тыс. т	2,3	126,5	108,5	107,4	88,9	73,6	110,1
Масло подсолнечное, сафлоровое или хлопковое и их фракции, тыс. т	130,5	152,3	111,8	135,8	145,9	130,8	109,6
Макаронные изделия, тыс. т	8,4	88,5	111,8	108,3	97,0	116,7	95,9
Кондитерские мучные изделия, тыс. т	17,4	99,5	107,0	99,0	117,3	116,9	104,3
Соль, пригодная для употребления в пищу, тыс. т	4,7	83,9	118,5	101,1	168,8	129,4	126,6
Фосфаты кальция, тыс. т	159,8	126,5	41,6	113,6	101,1	60,3	138,1
Руды и концентраты железные, тыс. т	1711,6	113,8	110,0	117,8	73,0	106,4	81,4
Уголь каменный, млн т	16,4	96,8	161,2	107,7	128,1	181,6	111,0
Кокс и полукокс, тыс. т	219,4	94,6	88,1	150,6	95,3	168,8	76,2
Нефть сырая, включая газовый конденсат природный, млн т	21,5	99,6	99,5	100,3	111,8	104,2	106,4
Нефтепродукты, млн т	11,9	98,7	109,1	99,0	102,4	103,9	88,9
Газ природный, млрд м ³	15,2	105,1	103,1	109,3	104,7	104,7	105,2
Электроэнергия, млрд кВт·ч	1,8	100,9	121,3	98,5	101,4	112,5	91,2
Аммиак безводный, тыс. т	159,6	103,5	164,2	80,7	32,7	47,1	98,7
Углеводороды ациклические, тыс. т	250,6	134,2	142,3	76,3	133,8	145,9	90,0
Удобрения, тыс. т	2683,5	121,9	160,1	105,7	121,0	111,8	96,8
Каучук синтетический, тыс. т	76,3	106,2	100,0	101,6	94,9	94,9	102,0
Шины пневматические резиновые, тыс. шт.	2593,1	96,8	139,7	94,5	121,3	140,9	129,3
Лесоматериалы необработанные, млн м ³	1,8	108,9	112,4	96,9	123,2	99,3	109,9
Лесоматериалы обработанные, млн т	1,6	107,8	103,7	111,6	119,2	105,9	115,0
Фанера клееная, тыс. м ³	199,3	96,2	94,8	99,2	108,3	105,8	113,3
Целлюлоза древесная, тыс. т	179,0	94,8	115,6	97,1	112,5	117,9	103,4
Бумага газетная, тыс. т	98,4	125,2	90,9	106,9	100,5	82,7	95,5
Ткани хлопчатобумажные, млн м ²	6,5	86,6	99,2	90,9	109,5	112,1	114,6
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома), млн долл.	1042,6	115,9	102,0	136,8	104,0	101,6	83,9
Чугун передельный, тыс. т	139,2	27,7	45,0	79,6	134,9	в 2,2 р.	103,6
Ферросплавы, тыс. т	47,0	54,5	87,2	98,6	129,7	116,1	103,9
Трубы из черных металлов, тыс. т	173,0	159,0	108,0	173,3	97,3	121,4	86,9
Медь рафинированная, тыс. т	58,5	125,1	145,4	109,9	153,5	94,0	98,0
Проволока медная, тыс. т	13,7	86,5	99,1	104,7	76,0	129,7	69,1
Никель необработанный, тыс. т	12,3	70,5	90,9	71,0	155,4	93,6	109,2
Алюминий необработанный, тыс. т	358,5	110,8	134,7	90,5	102,4	124,7	98,5
Машины, оборудование и транспортные средства, млн долл.	2166,1	132,1	142,1	109,8	93,1	73,5	87,4

1) Включая выловленные (добытые) и проданные вне зоны действия таможенного контроля.

ИНДЕКСЫ ЦЕН И ТАРИФОВ НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %

Индекс	К предыдущему месяцу			Сентябрь 2017 г. к		Январь– сентябрь 2017 г. в % к январю– сентябрю 2016 г.	Справочно сентябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	июль 2017 г.	август 2017 г.	сентябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	сентябрю 2016 г.		
Индекс потребительских цен	100,1	99,5	99,9	101,7	103,0	104,1	104,1
Индекс тарифов на грузовые перевозки	106,8	100,0	100,1	114,6	108,8	106,1	111,6
Индекс цен производителей промышленных товаров ¹⁾	99,5	101,5	102,4	104,9	106,8	107,5	105,6 ²⁾
Индекс цен производителей сельскохозяйственной продукции	98,8	99,2	99,6	92,4	95,9	99,2	97,9
Сводный индекс цен на продукцию (затраты, услуги) инвестиционного назначения	101,0	100,8	100,0	103,0	102,5	102,5	103,7

1) На товары, предназначенные для реализации на внутреннем рынке.
2) В целях обеспечения сопоставимости ранее опубликованные данные за периоды 2016 г. пересчитаны в соответствии с группировками ОКВЭД2.

**ИНДЕКСЫ ЦЕН ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ОТРАСЛЯМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %**

Отрасль	К предыдущему месяцу			Сентябрь 2017 г. к		Январь– сентябрь 2017 г. в % к январю– сентябрю 2016 г.	Справочно сентябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	июль 2017 г.	август 2017 г.	сентябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	сентябрю 2016 г.		
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	100,9	103,5	102,3	106,2	105,5	105,2	105,4
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	104,8	104,7	100,0	110,0	110,3	109,3	108,8
Добыча полезных ископаемых	97,9	103,2	106,5	113,7	112,9	114,6	109,2
Производство кокса и нефтепродуктов	99,2	101,7	103,4	110,6	120,0	115,8	99,8
Производство металлургическое	98,2	102,9	105,9	103,1	107,1	108,7	115,1
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	99,6	99,6 ^Ц	100,6	102,8	104,4	106,2	106,4
Производство химических веществ и химических продуктов	99,4	100,9	101,5	101,9	101,9	99,3	97,0
Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	101,0	98,1	99,0	101,8	106,3	108,6	104,9

**САЛЬДИРОВАННЫЙ ФИНАНСОВЫЙ РЕЗУЛЬТАТ (ПРИБЫЛЬ МИНУС УБЫТОК)
ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЯНВАРЕ–АВГУСТЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сальдо прибылей (+) и убытков (-), млрд руб.</i>	<i>В % к январю–августу 2016 г.¹⁾</i>
Всего	+6382,7	91,5
Добыча полезных ископаемых	+1676,2	121,0
В том числе:		
добыча угля	+204,2	в 2,7 р.
добыча сырой нефти и природного газа	+1034,9	138,2
добыча металлических руд	+240,1	95,0
добыча прочих полезных ископаемых	+114,1	58,2
Обрабатывающие производства	+1789,0	89,3
В том числе:		
производство пищевых продуктов	+125,6	88,1
производство напитков	+45,3	99,2
производство табачных изделий	+16,8	58,9
производство текстильных изделий	+3,1	53,0
производство одежды	+5,8	82,1
производство кожи и изделий из кожи	+1,5	112,1
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	+2,3	6,3
производство бумаги и бумажных изделий	+51,4	66,1
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	+6,4	133,8
производство кокса и нефтепродуктов	+534,0	178,9
производство химических веществ и химических продуктов	+209,2	60,5
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	+33,2	105,2
производство резиновых и пластмассовых изделий	+21,7	83,9
производство прочих неметаллической минеральной продукции	+30,5	83,3
производство металлургическое	+449,0	70,5
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	+57,3	58,9
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	+55,6	111,6
производство электрического оборудования	+25,0	105,3
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	+26,0	56,5
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	+30,4	—
производство прочих транспортных средств и оборудования	+32,7	56,8
производство мебели	+2,4	104,8
производство прочих готовых изделий	+0,7	24,5
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	+428,8	105,7
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	+14,2	152,9
Строительство	+58,6	73,8

1) Темпы изменения сальдированного финансового результата отчетного периода по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года рассчитаны по сопоставимому кругу организаций; с учетом корректировки данных соответствующего периода предыдущего года, исходя из изменений учетной политики, законодательных актов и др. в соответствии с методологией бухгалтерского учета. Прочерк означает, что в одном или обоих сопоставляемых периодах был получен отрицательный сальдированный финансовый результат.

**ПРИБЫЛЬ И УБЫТОК ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ЯНВАРЕ–АВГУСТЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сумма прибыли, млрд руб.</i>	<i>Доля прибыльных организаций в общем числе организаций, %</i>	<i>Сумма убытка, млрд руб.</i>	<i>Доля убыточных организаций в общем числе организаций, %</i>
Всего	7595,8	70,3	1213,1	29,7
Добыча полезных ископаемых	1745,5	69,2	69,3	30,8
В том числе:				
добыча угля	214,5	73,5	10,3	26,5
добыча сырой нефти и природного газа	1066,9	75,5	32,0	24,5
добыча металлических руд	252,9	65,0	12,8	35,0
добыча прочих полезных ископаемых	117,1	61,5	3,0	38,5
Обрабатывающие производства	2098,5	72,5	309,5	27,5
В том числе:				
производство пищевых продуктов	153,8	79,7	28,2	20,3
производство напитков	48,1	73,3	2,8	26,7
производство табачных изделий	16,8	92,9	0,0	7,1
производство текстильных изделий	5,6	65,0	2,5	35,0
производство одежды	6,3	72,3	0,5	27,7
производство кожи и изделий из кожи	2,2	76,7	0,7	23,3
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	20,4	62,7	18,1	37,3
производство бумаги и бумажных изделий	56,1	78,1	4,7	21,9
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	7,7	61,0	1,3	39,0
производство кокса и нефтепродуктов	541,5	80,0	7,5	20,0
производство химических веществ и химических продуктов	238,7	78,8	29,5	21,2
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	37,7	81,1	4,5	18,9
производство резиновых и пластмассовых изделий	29,3	78,6	7,6	21,4
производство прочей неметаллической минеральной продукции	59,1	57,5	28,6	42,5
производство металлургическое	483,8	66,8	34,8	33,2
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	78,3	71,2	21,0	28,8
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	65,4	77,3	9,8	22,7
производство электрического оборудования	33,7	77,2	8,7	22,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	55,0	71,6	29,0	28,4
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	53,5	68,0	23,1	32,0
производство прочих транспортных средств и оборудования	70,4	64,6	37,7	35,4
производство мебели	3,2	79,8	0,8	20,2
производство прочих готовых изделий	2,9	78,5	2,2	21,5
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	504,7	51,6	75,9	48,4
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	26,8	55,5	12,6	44,5
Строительство	154,8	72,2	96,2	27,8

**НАЧИСЛЕННАЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА
В РАСЧЕТЕ НА ОДНОГО РАБОТНИКА (без выплат социального характера)¹⁾**

Отрасль	Август 2017 г.			Январь–август 2017 г.		
	руб.	в % к		руб.	в % к	
		августу 2016 г.	июлю 2017 г.		январю– августу 2016 г.	общерос- сийскому уровню средне- месячной зарбот- ной платы
Всего	37140	105,8	97,6	38387	106,8	100
Добыча полезных ископаемых	73482	107,7	102,8	72255	108,1	188
В том числе:						
добыча угля	56913	113,4	110,6	51332	108,3	134
добыча сырой нефти и природного газа	99305	104,9	104,6	102535	106,5	в 2,7 р.
добыча металлических руд	56200	110,4	98,0	54913	108,9	143
Обрабатывающие производства	38172	104,0	98,7	38001	108,8	99
В том числе:						
производство пищевых продуктов	30409	109,6	101,8	29586	108,5	77
производство напитков	37620	105,3	98,6	37928	103,9	99
производство табачных изделий	88571	110,6	100,1	98033	105,4	в 2,6 р.
производство текстильных изделий	22952	113,3	100,4	22093	111,0	58
производство одежды	19970	109,3	98,7	19507	111,1	51
производство кожи и изделий из кожи	21053	108,4	104,6	20585	108,7	54
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	25786	105,1	98,7	25885	106,1	67
производство бумаги и бумажных изделий	37944	106,8	97,0	39670	106,6	103
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	32345	112,2	101,1	29885	111,3	78
производство кокса и нефтепродуктов	84555	54,9	110,6	97081	109,8	в 2,5 р.
производство химических веществ и химических продуктов	45677	109,0	97,6	45759	107,6	119
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	51059	107,5	97,3	56000	110,6	146
производство резиновых и пластмассовых изделий	30465	110,4	99,5	30171	111,4	79
производство прочей неметаллической минеральной продукции	32460	107,2	100,1	30468	108,5	79
производство металлургическое	47769	107,8	91,7	48672	107,8	127
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	37078	110,8	102,3	35746	109,4	93
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	45561	108,7	99,2	44407	110,5	116
производство электрического оборудования	35135	109,0	100,5	33894	109,5	88
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	37188	109,6	99,5	36216	108,9	94
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	36144	105,5	88,6	36802	111,1	96
производство прочих транспортных средств и оборудования	44069	108,2	96,4	43775	109,3	114
производство мебели	22424	108,5	102,9	22833	113,5	59
производство прочих готовых изделий	28510	104,5	97,9	29576	105,3	77
ремонт и монтаж машин и оборудования	44356	106,4	99,0	44414	106,0	116
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	44245	106,9	98,8	44124	106,5	115
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	28911	107,6	101,1	28563	106,7	74
Строительство	35769	108,8	100,9	33861	107,8	88

¹⁾ Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

**ЧИСЛО ЗАМЕЩЕННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО ОТРАСЛЯМ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В АВГУСТЕ 2017 г. (без субъектов малого предпринимательства)¹⁾**

Отрасль	Всего замещенных рабочих мест, тысяч	В том числе работниками		
		списочного состава (без внешних совместителей)	внешними совмести- телями	выполнявшими работы по договорам гражданско- правового характера
Всего	33044,2	31788,7	488,7	766,8
Добыча полезных ископаемых	949,7	941,8	2,0	5,9
В том числе:				
добыча угля	150,5	149,0	0,3	1,2
добыча сырой нефти и природного газа	277,9	276,6	0,3	1,0
добыча металлических руд	173,8	172,1	0,3	1,4
Обрабатывающие производства	5283,0	5209,8	28,4	44,9
В том числе:				
производство пищевых продуктов	728,6	717,4	3,9	7,3
производство напитков	103,7	100,6	0,5	2,6
производство табачных изделий	6,8	6,8	0,0	0,0
производство текстильных изделий	50,4	49,6	0,4	0,4
производство одежды	52,3	51,6	0,4	0,3
производство кожи и изделий из кожи	26,0	25,8	0,1	0,1
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	109,9	107,7	0,5	1,8
производство бумаги и бумажных изделий	91,0	89,8	0,3	0,8
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	36,3	34,7	0,5	1,1
производство кокса и нефтепродуктов	130,8	130,1	0,3	0,4
производство химических веществ и химических продуктов	311,0	307,4	1,3	2,4
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	73,8	70,4	0,6	2,9
производство резиновых и пластмассовых изделий	132,0	130,2	0,9	1,0
производство прочей неметаллической минеральной продукции	312,1	307,0	1,8	3,3
производство металлургическое	529,3	526,2	1,3	1,7
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	467,1	461,2	2,5	3,4
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	387,2	378,4	4,4	4,4
производство электрического оборудования	201,6	198,4	1,4	1,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	330,5	325,6	2,2	2,8
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	257,2	255,4	0,8	1,0
производство прочих транспортных средств и оборудования	613,8	609,7	2,1	2,1
производство мебели	50,6	50,1	0,3	0,2
производство прочих готовых изделий	29,6	29,1	0,2	0,3
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	1339,2	1317,0	6,6	15,5
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	436,6	425,4	3,5	7,8
Строительство	1023,8	990,2	9,9	23,7

1) Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

Подготовлено В.В. Смильтиной

ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО РЕГИОНАМ В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–сентябрь 2016 г.	Январь–сентябрь 2017 г.	Изменение январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %
ЕС-28	68559	70322	2,6
Прочие страны Европы	9119	9464	3,8
СНГ	66288	56006	-15,5
Северная Америка	25155	24892	-1,0
Южная Америка	21428	23293	8,7
Африка (только ЮАР)	3281	3202	-2,4
Ближний и Средний Восток (только Иран)	1775	1690	-4,8
Азия	682108	700143	2,6
Австралия и Океания	3185	3268	2,6
МИР, всего*	880897	892280	1,3

* Итог приведен по 39 странам, на которые приходится около 99 % мирового производства чугуна.

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–сентябрь 2016 г.	Январь–сентябрь 2017 г.	Изменение январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	2679	2758	3,0	26
Австрия	4187	4728	12,9	13
Аргентина	1622	1599	-1,4	28
Бельгия	3635	3762	3,5	19
Босния и Герцеговина	597	537	-9,9	31
Бразилия	19087	21029	10,2	7
Великобритания	4616	4470	-3,1	16
Венгрия	595	970	63,0	30
Германия	20746	21297	2,7	6
Индия	46686	48801	4,5	3
Иран	1775	1690	-4,8	27
Испания	3425	3342	-2,4	20
Италия	4531	3868	-14,6	18
Казахстан	2387	2804	17,5	24
Канада	4718	4683	-0,8	14
Китай	529358	546141	3,2	1
Колумбия	168	140	-16,7	34
Мексика	3233	3121	-3,5	22
Нидерланды	4582	4573	-0,2	15
Новая Зеландия	506	509	0,7	32
Парагвай	39	27	-32,1	35
Польша	3406	3870	13,6	17
Россия	46072	38736	-15,9	4
Сербия	798	990	24,1	29
Словакия	2997	3054	1,9	23
США	17203	17089	-0,7	8
Тайвань	11149	11206	0,5	10
Турция	7725	7937	2,7	12
Украина	17829	14466	-18,9	9
Франция	7148	8081	13,1	11
Чехия	3156	2759	-12,6	25
Чили	512	499	-2,6	33
ЮАР	3281	3202	-2,4	21
Южная Корея	34457	35237	2,3	5
Япония	60457	58756	-2,8	2

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО РЕГИОНАМ МИРА В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–сентябрь 2016 г.	Январь–сентябрь 2017 г.	Изменение январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %
ЕС-28	121466	126427	4,1
Прочие страны Европы	26445	30017	13,5
СНГ	76341	76373	0,0
Северная Америка	83761	86707	3,5
Южная Америка	29946	32339	8,0
Африка	8694	9894	13,8
Страны Среднего Востока	21460	24504	14,2
Азия	827170	876271	5,9
Австралия и Океания	4299	4383	2,0
МИР, всего*	1199581	1266916	5,6

* Итог приведен по 66 странам, входящим в Международный институт чугуна и стали, на которые приходится около 98 % мирового производства стали.

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–сентябрь 2016 г.	Январь–сентябрь 2017 г.	Изменение январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	3871	3898	0,7	26
Австрия	5520	6077	10,1	20
Аргентина	3078	3352	8,9	33
Белоруссия	1623	1838	13,2	38
Бельгия	5714	6010	5,2	21
Болгария	381	493	29,2	48
Босния и Герцеговина	621	565	-8,9	46
Бразилия	23348	25468	9,1	9
Великобритания	5760	5622	-2,4	22
Венгрия	898	1403	56,2	40
Венесуэла	319	289	-9,4	53
Вьетнам	3729	6734	80,6	19
Гватемала	237	217	-8,5	56
Германия	32011	32876	2,7	7
Греция	853	911	6,8	44
Египет	3627	4931	36,0	24
Индия	71254	75293	5,7	3
Иран	13210	16233	22,9	12
Испания	10442	10723	2,7	16
Италия	17336	17775	2,5	10
Казахстан	3162	3404	7,7	32
Канада	9688	9811	1,3	17
Катар	1947	1999	2,7	37
Китай	601158	638731	6,3	1
Колумбия	967	965	-0,2	42
Куба	182	159	-12,6	58
Ливия	377	282	-25,3	55
Люксембург	1663	1569	-5,7	39
Македония	119	186	56,1	57
Мексика	13954	14995	7,5	14
Молдова	71	288	305,6	54
Нидерланды	5210	5051	-3,1	23
Новая Зеландия	427	485	13,5	49
Норвегия	456	434	-4,8	51
ОАЭ	2222	2452	10,4	36
Пакистан	2591	3705	43,0	28

Регион	Январь–сентябрь 2016 г.	Январь–сентябрь 2017 г.	Изменение январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %	Рейтинг
Парагвай	26	18	-32,0	61
Перу	856	914	6,7	43
Польша	6577	7821	18,9	18
Россия	52714	54203	2,8	5
Сальвадор	76	72	-4,7	59
Саудовская Аравия	4082	3820	-6,4	27
Сербия	811	1089	34,2	41
Словакия	3588	3697	3,1	29
Словения	470	481	2,4	50
США	59587	61453	3,1	4
Таиланд	2850	3308	16,1	34
Тайвань	16153	17418	7,8	11
Турция	24438	27742	13,5	8
Узбекистан	514	502	-2,3	47
Украина	18257	16138	-11,6	13
Уругвай	45	41	-8,0	60
Финляндия	3078	3105	0,9	35
Франция	10619	11735	10,5	15
Чехия	4037	3448	-14,6	31
Чили	874	870	-0,5	45
Швеция	3491	3455	-1,0	30
Эквадор	433	422	-2,5	52
ЮАР	4691	4682	-0,2	25
Южная Корея	51054	52819	3,5	6
Япония	78382	78265	-0,2	2

Раздел подготовлен по материалам WSA.

**ПРОИЗВОДСТВО ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ
В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ
В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2017 г.**

**ПРОИЗВОДСТВО СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ**

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Добыча металлических руд				
Концентрат железорудный, млн т	7,8	91,6	97,0	93,9
Производство электроферросплавов				
Ферросилиций, тыс. т	74,8	107,2	104,2	88,9
Производство кокса				
Кокс и полукокс из каменного угля, млн т	2,3	93,7	97,6	96,0
Производство огнеупоров				
Кирпичи, блоки, плитки и прочие изделия огнеупорные, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	104,0	109,9	84,5	115,2
Цементы огнеупорные, строительные растворы, бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	165,0	185,4	106,6	146,7
Изделия огнеупорные безобжиговые и прочие огнеупорные керамические изделия, тыс. т	43,2	81,8	91,2	104,3

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА, СТАЛИ И ГОТОВОГО ПРОКАТА

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах, млн т	4,3	104,9	98,6	99,8
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали, млн т	4,4	100,4	96,1	101,8
Сталь нержавеющая в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикаты из нержавеющей стали, тыс. т	13,8	100,3	99,0	99,2
Сталь легированная прочая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из прочей легированной стали, млн т	1,1	104,6	91,7	103,5
Прокат готовый, млн т	5,1	101,6	95,9	101,4

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПО ВИДАМ

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Трубы стальные для нефте- и газопроводов бесшовные, тыс. т	59,1	127,9	111,8	98,0
Трубы обсадные, насосно-компрессорные трубы и бурильные трубы, используемые для бурения нефтяных или газовых скважин, бесшовные стальные, тыс. т	146,0	105,8	96,2	110,4
В том числе:				
обсадные бесшовные стальные	99,0	120,0	102,6	123,9
насосно-компрессорные бесшовные стальные	44,2	85,3	85,5	93,6
бурильные для бурения нефтяных и газовых скважин бесшовные стальные	2,6	74,4	76,7	78,2
Трубы круглого сечения прочие стальные, тыс. т	220,0	115,0	97,6	113,5

ПРОИЗВОДСТВО НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ

Подотрасль, продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.	
Производство метизов				
Проволока холоднотянутая из нелегированной стали, тыс. т	126,0	103,2	99,1	101,4
Проволока холоднотянутая из нержавеющей стали, тыс. т	910,0	90,1	160,8	60,0
Проволока холоднотянутая из прочей легированной стали, тыс. т	17,8	117,7	97,8	117,2

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

Подготовлено Н.Г. Зиновьевой

**СОДЕРЖАНИЕ БЮЛЛЕТЕНЯ “ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ” ЗА 2017 г.
С ВЫП. 1 (1405) ПО ВЫП. 12 (1416)**

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
ПРОГРАММНЫЕ ВОПРОСЫ		
Итоги работы предприятий черной металлургии России за 9 мес. 2016 г. <i>Петракова Т.М., Иванова И.М.</i>	1 (1405)	3
Институту горного дела УрО РАН — 55 лет: этапы развития научных исследований. <i>Корнилов С.В., Яковлев В.Л., Глебов А.В., Панжин А.А.</i>	1 (1405)	16
Современное состояние и ожидаемые мировые тенденции развития металлургии железа. <i>Курунов И.Ф.</i>	2 (1406)	3
Основные показатели работы черной металлургии России в 2016 г. <i>Катунин В.В., Петракова Т.М., Иванова И.М.</i>	3 (1407)	3
История Косогорского металлургического завода. <i>Мурат С.Г.</i>	4 (1408)	3
Новые экономические и технологические рубежи в производстве и применении периодического профиля для стальной арматуры. <i>Харитонов В.А., Снимщиков С.В., Саврасов И.П., Харитонов А.В.</i>	4 (1408)	6
Новый стандарт на арматурный прокат. Современные вызовы и стратегия дальнейшего развития. <i>Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Саврасов И.П.</i>	5 (1409)	3
Проблемы импортозамещения марганцевой продукции. <i>СерEGIN А.Н., Верета Р.А.</i>	5 (1409)	9
Современный комплекс оборудования для непрерывной разливки и внепечной обработки стали: новые решения и предпочтения (к 20-летию со дня основания НПП “Вулкан-ТМ”). <i>Золотухин В.И., Гордеев Е.И., Провоторов Д.А. и др.</i>	6 (1410)	3
Реальность и ожидания современного рынка арматуры. К выходу нового ГОСТ 34028–2016. <i>Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Саврасов И.П.</i>	6 (1410)	9
Итоги работы предприятий черной металлургии России за I квартал 2017 г. <i>Петракова Т.М., Иванова И.М.</i>	7 (1411)	3
Золотой юбилей железорудного гиганта России. <i>Михайлов О.Ю., Тарасенко Я.В.</i>	7 (1411)	15
Проблемы импортозамещения в металлургии и возможности увеличения производства нержавеющей стали в Российской Федерации. <i>Гудим Ю.А., Токовой О.К.</i>	7 (1411)	18
Перспективы развития черной металлургии Индии. Сообщение 1. <i>Зиновьева Н.Г.</i>	8 (1412)	3
Конференция огнеупорщиков и сталеплавильщиков в России. <i>Аксельрод Л.М.</i>	8 (1412)	13
Глобальный инновационный процесс и его воздействие на ценовые и объемные параметры развития мировой энергетики и черной металлургии. <i>Плакиркин Ю.А., Плакиркина Л.С.</i>	9 (1413)	3
Перспективы развития черной металлургии Индии. Сообщение 2. Развитие производства нержавеющей стали в Индии. <i>Зиновьева Н.Г.</i>	9 (1413)	12
Итоги работы предприятий черной металлургии России за первое полугодие 2017 г. <i>Петракова Т.М., Иванова И.М.</i>	10 (1414)	3
Огнеупорная индустрия и изменения на сырьевом рынке. <i>Аксельрод Л.М.</i>	11 (1415)	3
Перспективы технологии прямого восстановления железа в металлургическом производстве. <i>Рудыка В.И.</i>	11 (1415)	14
Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития. <i>Тигунов Л.П., Пикалова В.С., Быховский Л.З.</i>	12 (1416)	3
ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений. <i>Сашурин А.Д., Панжин А.А.</i>	1 (1405)	21
Повышение геодинамической безопасности подземной разработки сложноструктурных рудных месторождений. <i>Ляшенко В.И., Голик В.И., Хоменко О.Е.</i>	3 (1407)	24
Научно-методическое и приборное обеспечение для повышения сейсмической безопасности при производстве взрывных работ под городской застройкой. <i>Ляшенко В.И.</i>	5 (1409)	14
Совершенствование конструкций грохотов для горнорудной и металлургической промышленности. <i>Ляшенко В.И., Дятчин В.З., Франчук В.П.</i>	7 (1411)	22
Рудная база титана России: потенциал освоения и развития. <i>Быховский Л.З., Ремизова Л.И., Чеботарева О.С.</i>	10 (1414)	16
Обоснование требований к созданию перспективного бурового станка для бурения взрывных скважин на отечественных горнодобывающих предприятиях с открытым способом разработки. <i>Сухов Р.И., Реготунов А.С.</i>	10 (1414)	22
Повышение эффективности геомеханического обеспечения подземных горных работ. <i>Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Кислый П.А.</i>	11 (1415)	23
Оценка потенциальной обогатимости железорудного сырья на основе параметров раскрытия минералов. <i>Кармазин В.В.</i>	12 (1416)	11
КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Анализ динамики добычи и цен коксующихся углей в мире и России в период 2000–2015 гг. <i>Плакиркина Л.С.</i>	2 (1406)	11

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
Особенности использования вторичных энергоресурсов коксохимического производства при реализации технологии подсушки шихты перед коксованием. <i>Еремин А.Я., Загайнов Н.В., Стахеев С.Г.</i>	6 (1410)	17
Закономерности изменения качества кокса в зависимости от сырьевой базы ЦОФ “Кузнецкая” и ОУОУ ЕЗСМК. <i>Золотухин Ю.А., Голубцов С.Н., Каракаш К.П.</i>	9 (1413)	16
Сталь, металлургический уголь, кокс: рынки, достижения, инновации (аналитический обзор материалов саммита “Европейский кокс 2017”). <i>Рудыка В.И.</i>	10 (1414)	26
АГЛОДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Влияние футеровки и системы охлаждения шахты на расход кокса и ресурс работы доменных печей ПАО “Запорожсталь” при применении пылеугольного топлива. <i>Гоман С.В., Набока В.И., Фоменко А.П. и др.</i>	1 (1405)	25
Уточнение характера движения материалов и газов в рабочем пространстве доменных печей в процессе задувки. <i>Дружков В.Г., Макарова И.В., Потапова М.В.</i>	1 (1405)	35
Преимущества и риски технологии доменной плавки с использованием пылеугольного топлива. <i>Филиппов В.В., Михалёв В.А., Миронов К.В. и др.</i>	1 (1405)	38
Улучшение работы доменной печи кратковременным уменьшением расхода природного газа. <i>Собагатуллин С.К., Харченко А.С., Харченко Е.О. и др.</i>	2 (1406)	16
Еще раз о локальной АСУ доменной печью по информации об активном весе шихты. <i>Марсуверский Б.А.</i>	2 (1406)	20
Моделирование температурного поля воздушной фурмы доменной печи с теплоизоляцией внутреннего стакана. <i>Тарасов Ю.С., Радюк А.Г.</i>	2 (1406)	26
Влияние геометрии дутьевого канала и теплоизолирующей вставки на газодинамику и теплообмен в воздушной фурме доменной печи. <i>Левицкий И.А., Тарасов Ю.С., Радюк А.Г., Титлянов А.Е.</i>	3 (1407)	32
Снижение засоренности конечного концентрата на Абагурской обогатительной фабрике. <i>Ганженко И.М., Якубайлик Э.К., Зарщикова Г.Г. и др.</i>	3 (1407)	39
Термодинамический анализ процессов разложения карбонатов при нагреве сидеритовой руды. <i>Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Фурсов В.И., Томлов Н.А.</i>	3 (1407)	44
Металлургические свойства агломератов из концентрата окисленных железистых кварцитов. <i>Берсенева И.С., Лопатин А.С., Белогуб Е.В. и др.</i>	3 (1407)	48
Исследование особенностей теплообмена в фурменной зоне доменной печи при вдувании ПУТ. <i>Ярошевский С.Л., Кузнецов А.М., Курбатов Ю.Л. и др.</i>	4 (1408)	14
Развитие теории и технологии выплавки ванадиевого чугуна с применением пылеугольного топлива. <i>Филиппов В.В., Михалёв В.А., Миронов К.В. и др.</i>	4 (1408)	22
Исследование особенностей обжига сидеритов в шахтной печи. <i>Матюхин В.И., Дудко В.А., Журавлёв С.Я.</i>	4 (1408)	26
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 1. Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию. <i>Фролов Ю.А.</i>	4 (1408)	33
Исследование процесса формирования жидких фаз при вдувании пылеугольного топлива в переменных шихтовых условиях. <i>Нестеров А.С., Семенов Ю.С., Горупаха В.В. и др.</i>	5 (1409)	24
Использование мелких фракций агломерата и кокса в условиях интенсивной работы доменных печей. <i>Титов В.Н., Ивлева Л.С., Пишикин А.А.</i>	5 (1409)	28
Особенности обжига сидеритов во вращающейся печи. <i>Матюхин В.И., Дудко В.А., Журавлёв С.Я.</i>	5 (1409)	33
Применение марганцовистого известняка в качестве флюсующей добавки при производстве агломерата. <i>Беликов И.П., Дунцев Д.Ю., Кобелев В.А., Нечкин Г.А.</i>	5 (1409)	37
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 2. Смешивание и окомкование агломерационной шихты. <i>Фролов Ю.А.</i>	5 (1409)	40
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 3. Загрузка шихты и постели на агломерационную машину. <i>Фролов Ю.А.</i>	6 (1410)	22
Совершенствование технологии, работы оборудования и систем управления доменной плавкой. <i>Иванча Н.Г., Муравьева И.Г., Семенов Ю.С. и др.</i>	6 (1410)	31
Современные решения при проектировании систем охлаждения в условиях применения технологии вдувания пылеугольного топлива. <i>Цыгулёв Ю.И.</i>	6 (1410)	41
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 4. Внешний нагрев слоя спекаемой агломерационной шихты. <i>Фролов Ю.А.</i>	7 (1411)	31
Комплексная АСУ доменным процессом. <i>Марсуверский Б.А.</i>	7 (1411)	41
Оптимизация процесса обжига сидеритовой руды в шахтных печах. <i>Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Дудко В.А.</i>	7 (1411)	46
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 5. Газодинамическая работа агломерационных машин. <i>Фролов Ю.А.</i>	8 (1412)	21
Соотношение удельных расходов кокса и природного газа в зависимости от условий работы доменной печи, оснащенной БЗУ лоткового типа. <i>Собагатуллин С.К., Харченко А.С., Шаган В.А. и др.</i>	8 (1412)	32

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
Влияние геометрии дутьевого канала и теплоизолирующей вставки на горение природного газа в воздушной фурме доменной печи. <i>Тарасов Ю.С., Левицкий И.А., Радюк А.Г., Титлянов А.Е.</i>	8 (1412)	42
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 6. Тепловая работа агломерационных машин. <i>Фролов Ю.А.</i>	9 (1413)	29
Методика определения степени завершенности процессов при обжиге железорудных окатышей. <i>Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Дудко В.А.</i>	9 (1413)	40
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата Часть 7. Качество агломерата. <i>Фролов Ю.А.</i>	10 (1414)	40
Освоение технологии доменной плавки с вдуванием в горн пылеугольного топлива в ЧАО “Енакиевский металлургический завод”. <i>Подкорытов А.Л., Кузнецов А.М., Зубенко А.Я. и др.</i>	10 (1414)	53
Совершенствование технологии производства агломерата в условиях АО “Уральская сталь”. <i>Демидова Н.В., Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В.</i>	10 (1414)	65
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 8. Охлаждение агломерата на агломерационной конвейерной машине. <i>Фролов Ю.А.</i>	11 (1415)	32
Использование интерполимерных связующих при агломерации шихт на основе тонкоизмельченных железорудных концентратов. <i>Берсенева И.С., Усольцев Д.Ю., Колясников А.Ю. и др.</i>	11 (1415)	43
Математическая модель и система стабилизации шлакового режима работы доменной печи. <i>Изюмский Н.Н., Гордон Я.М., Третьяк А.А.</i>	11 (1415)	46
Увеличение прочности горячебрикетированного железа за счет изменения его формы. <i>Никитченко Т.В., Поляков А.С., Тимофеева А.С., Черменев Е.А.</i>	11 (1415)	52
Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе. <i>Фролов Ю.А., Каплун Л.И.</i>	12 (1416)	18
Подготовка к доменной плавке титаномагнетитовых концентратов с различным содержанием диоксида титана. <i>Дмитриев А.Н., Петухов Р.В.</i>	12 (1416)	27
Выявление источников неравномерного распределения компонентов железорудной шихты, загружаемой в доменную печь. <i>Сибатуллин С.К., Савинов А.С., Харченко А.С., Девятченко Л.Д.</i>	12 (1416)	30
Исследование температуры самовозгорания металлургического продукта. <i>Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В., Короткова Л.Н.</i>	12 (1416)	36

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Реконструкция действующей сортовой МНЛЗ Vaku Steel Company с целью литья круглых заготовок для нужд трубной промышленности. <i>Смоляков А.С., Шахов С.И., Керимов Р.И., Рафиев О.Ю.</i>	1 (1405)	43
Влияние концентрации кремния в низкомарганцовистом чугуна на технологические показатели конвертерного процесса. <i>Смирнов Л.А., Спиринов С.А., Ровнушкин В.А. и др.</i>	1 (1405)	46
Режим горения дуг переменного тока и структурные характеристики шлаков ковшевой металлургии. <i>Шеицков О.Ю., Егизарьян Д.К., Сивцов А.В. и др.</i>	1 (1405)	54
Сульфидная емкость глиноземистых шлаков внепечной обработки стали и активность анионов кислорода. <i>Шеицков О.Ю., Некрасов И.В., Бонарь С.Н. и др.</i>	2 (1406)	30
Разработки ВНИИМЕТМАШ систем электромагнитного перемешивания для машин непрерывного литья заготовок. <i>Смоляков А.С., Шахов С.И., Рогачиков Ю.М.</i>	2 (1406)	33
Применение инструментальной системы моделирования и оптимизации для разработки теоретических основ технологий легирования и модифицирования стали. <i>Рыбенко И.А.</i>	2 (1406)	37
Разработка системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора. <i>Еронько С.П., Мечик С.В., Ткачев М.Ю. и др.</i>	3 (1407)	54
Оптимизация технологий в струйно-эмульсионном металлургическом агрегате с использованием методики и инструментальной системы моделирования. <i>Рыбенко И.А.</i>	3 (1407)	60
Внедрение компьютерной системы расчета процесса продувки в конвертерном цехе № 2 ПАО “Новолипецкий металлургический комбинат”. <i>Литвиненко Е.Ф., Поляков В.Н., Волгин А.В., Суханов Ю.Ф.</i>	3 (1407)	66
Чугун и сталь как источники загрязнения медью. <i>Мысик В.Ф., Жданов А.В., Тимофеев М.О., Шартдинов Р.Р.</i>	4 (1408)	41
К вопросу о рациональной загрузке шихтовых материалов и расположении топливосжигающих устройств в ДСП-120. <i>Воронов Г.В., Гольцев В.А., Глухов И.В., Плесакин И.В.</i>	4 (1408)	45
Повышение интенсивности перемешивания расплава в ванне конвертера с вращающимся корпусом. <i>Еронько С.П., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И.</i>	4 (1408)	49
Структурно-химическое состояние оксидных и металлических фаз дуплекс-системы FeO–SiO ₂ –BaO:Fe–Si–Ba при ковшевой обработке стали. Сообщение 1. Дуплекс-система силикаты–силициды железа. <i>Белов Б.Ф., Троцан А.И., Карликова Я.П. и др.</i>	5 (1409)	49
Раскислительная способность циркония в жидком железе (обзор литературных источников). <i>Назюта Л.Ю.</i>	5 (1409)	56

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
Производство низкофосфористых марганцевых сплавов с использованием марганцевого концентрата химического обогащения. <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Процунин И.Е., Голодова М.А.</i>	5 (1409)	63
Модельные исследования системы отсечки шлака при выпуске стали из конвертера с вращающимся корпусом. <i>Еронько С.П., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И.</i>	6 (1410)	48
Структурно-химическое состояние оксидных и металлических фаз дуплекс-системы FeO–SiO ₂ –BaO:Fe–Si–Ba при ковшевой обработке стали. Сообщение 2. Дуплекс-система силикаты–силициды бария. <i>Белов Б.Ф., Троцан А.И., Карликова Я.П. и др.</i>	6 (1410)	55
Влияние внешнего воздействия на внутреннее строение непрерывнолитого сляба из трубной стали. <i>Столяров А.М., Крылова Е.А., Мошкун В.В. и др.</i>	7 (1411)	53
Технология комбинированной продувки кислородом сверху и неактивными газами через днище в конвертерах: направления проведения научных исследований. <i>Пантейков С.П.</i>	7 (1411)	55
Структурно-химическое состояние оксидных и металлических фаз дуплекс-системы FeO–SiO ₂ –BaO:Fe–Si–Ba при ковшевой обработке стали. Сообщение 3. Дуплекс-система силикаты–силициды железобария. <i>Белов Б.Ф., Троцан А.И., Карликова Я.П., Рябчиков И.В.</i>	7 (1411)	67
Совершенствование системы вдувания газопорошковых смесей в ванну конвертера с вращающимся корпусом. <i>Еронько С.П., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И.</i>	7 (1411)	75
Нагрев жидкой стали в промежуточном ковше машины непрерывного литья заготовок. <i>Ильичев М.В., Тюфтяев А.С., Юсупов Д.И.</i>	8 (1412)	48
Влияние инъекции аргона во внутреннюю полость погружного стакана на ее зарастание и стабильность процесса непрерывного литья. <i>Смирнов А.Н., Верзилов А.П., Куберский С.В. и др.</i>	8 (1412)	55
Оценка влияния технологии непрерывной разливки трубной стали на качество горячекатаного листа. <i>Столяров А.М., Мошкун В.В.</i>	9 (1413)	47
Формирование основных борсодержащих шлаков — перспективное направление внепечной десульфурации и прямого микролегирования низкоуглеродистой стали бором. <i>Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А. и др.</i>	9 (1413)	50
Опыт разработки кислородных фурм с центральным охлаждением головок. <i>Чернятевич А.Г.</i>	10 (1414)	72
Моделирование процессов движения шихты в полости конвертера с вращающимся корпусом. <i>Еронько С.П., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И.</i>	10 (1414)	81
Уникальный металлургический агрегат ПАО ММК стационарный дуплекс-конвертер. <i>Авраменко В.А., Денисов С.В., Валиахметов А.Х. и др.</i>	11 (1415)	57
Внедрение процессов бесконечного литья-прокатки для производства особо тонких (до 0,8 мм) горячекатаных полос (по материалам зарубежных публикаций). <i>Матвеев Б.Н.</i>	11 (1415)	60
Картина продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной кислородной фурмы. <i>Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Молчанов Л.С. и др.</i>	12 (1416)	39
Исследование возможности получения ферромарганца с пониженным содержанием углерода и фосфора из карбонатных марганцевых руд. <i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Голодова М.А.</i>	12 (1416)	46

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Анализ причин дефекта холоднокатаных стальных полос “сварка витков рулона при отжиге” и разработка методов его устранения. <i>Гарбер Э.А., Дилигенский Е.В., Антонов П.В. и др.</i>	1 (1405)	60
Разработка низкоуглеродистой медесодержащей стали для соединительных деталей магистральных трубопроводов. <i>Матросов М.Ю., Мартынов П.Г., Кичкина А.А. и др.</i>	1 (1405)	63
Дооснащение роликовой правильной машины с целью повышения качества листового проката. <i>Максимов Е.А.</i>	1 (1405)	70
О режимах текстурирования поверхности рабочих валков для производства листа с высококачественной микротопографией поверхности. Часть 1. Физическая интерпретация процесса искрообразования на электроэрозионных установках (ЭРТ). О связи амплитудного параметра шероховатости R_a и частотного параметра шероховатости R_c текстурированной поверхности с технологическими параметрами текстурирования. <i>Белов В.К., Беглецов Д.О., Дьякова М.В. и др.</i>	2 (1406)	44
Анализ сквозной технологии производства листового проката статистическими методами. <i>Шаповалов А.Н., Тутарова В.Д., Калитаев А.Н., Нефедов А.В.</i>	2 (1406)	52
Режимы прокатки трамвайных рельсов в непрерывной реверсивной группе клетей. <i>Сметанин С.В., Перетянько В.Н.</i>	2 (1406)	59
Разработка и испытания новых методов улучшения плоскостности горячекатаных стальных широких полос. <i>Гарбер Э.А., Михеева И.А., Шалаевский Д.Л. и др.</i>	3 (1407)	76
О режимах текстурирования поверхности рабочих валков для производства листа с высококачественной микротопографией поверхности. Часть 2. О выборе наиболее эффективных режимов текстурирования поверхности рабочих валков на установках ЭРТ HERKULES и Profifex 60S. <i>Белов В.К., Беглецов Д.О., Дьякова М.В. и др.</i>	3 (1407)	83

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
Теоретические и технологические параметры правки толстых стальных листов на семироликовой правильной машине. <i>Максимов Е.А.</i>	3 (1407)	88
Методика оценки антифрикционной эффективности технологических смазок при холодной прокатке по их физико-химическим свойствам. <i>Василев Я.Д., Замогильный Р.А., Самокиш Д.Н.</i>	4 (1408)	54
Упаковка металлопродукции в условиях импортозамещения. <i>Коляда Л.Г., Пономарев А.П., Тарасюк Е.В., Махоткина Е.С.</i>	4 (1408)	60
Исследование технологических параметров правки толстых стальных листов и мощности привода роликовой правильной машины. <i>Максимов Е.А.</i>	4 (1408)	63
О выборе вида тонкослябового литейно-прокатного агрегата для производства горячекатаных полос (по зарубежным данным). <i>Матвеев Б.Н.</i>	4 (1408)	68
Определение антифрикционной эффективности технологических смазок при холодной прокатке по их физико-химическим свойствам. <i>Василев Я.Д., Замогильный Р.А., Самокиш Д.Н.</i>	5 (1409)	68
Анализ современных упаковочных материалов для металлопродукции. <i>Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., Вафин В.Р.</i>	6 (1410)	61
Возможности повышения эксплуатационного ресурса крупных мелющих шаров из высокохромистой стали при использовании термоциклической обработки. <i>Самойлович Ю.А.</i>	6 (1410)	73
Изменение фазового состава стали при воздействии импульсов тока и СВЧ-излучения в условиях деформации. <i>Троицкий О.А., Хрущов М.М., Сташенко В.И.</i>	7 (1411)	82
Исследование склонности низкоуглеродистой стали, микролегированной ванадием и азотом, к деформационному старению. <i>Науменко В.В.</i>	7 (1411)	87
Новая методика моделирования параметров трения в очаге деформации дрессировочного стана. <i>Тимофеева М.А., Гарбер Э.А.</i>	8 (1412)	60
Особенности технологических режимов черновой стадии прокатки низкоуглеродистой низколегированной толстолистовой штрипсовой стали с высокими требованиями к низкотемпературной вязкости. <i>Семенюк П.П., Великоцкий Р.Е., Кравченко А.Г., Румянцева Н.А.</i>	8 (1412)	64
Микролегирование ванадием и азотом низкоуглеродистых сталей трубного назначения. <i>Науменко В.В.</i>	8 (1412)	69
Прогрессивная энергоэффективная технология прокатки трамвайных рельсов на современном универсальном рельсобалочном стане. <i>Сметанин С.В.</i>	8 (1412)	74
Металловедческая оценка степени влияния основных технологических групп факторов на хладостойкость штрипсовой стали класса прочности К60 в зависимости от толщины листа. <i>Семенюк П.П., Вейнов А.М., Великоцкий Р.Е. и др.</i>	9 (1413)	54
Тенденции развития производства и потребления жести в мире. <i>Василев Я.Д., Замогильный Р.А., Самокиш Д.Н.</i>	9 (1413)	61
Перспективы непрерывного производства сортовых профилей непосредственно из жидкой стали (по материалам международных конференций по черной металлургии). <i>Матвеев Б.Н.</i>	10 (1414)	87
Диагностика процесса образования окалины при высокотемпературном нагреве стальной заготовки. <i>Бирюков А.Б., Курбатов Ю.Л., Новикова Е.В., Заика А.А.</i>	11 (1415)	65
Применение переменной скорости вращения валков в поперечно-винтовой прокатке с целью повышения их ресурса. <i>Рубцов В.Ю., Шевченко О.И.</i>	11 (1415)	72
Улучшение плоскостности холоднокатаных стальных полос путем воздействия на нестабильные параметры технологии горячей и холодной прокатки. <i>Тимофеева М.А., Гарбер Э.А.</i>	12 (1416)	51
Разработка и освоение производства листового проката из стали повышенной огнестойкости класса прочности С355П, предназначенной для строительных конструкций. <i>Зубов С.П., Придеин А.А., Прокопенко Л.В., Синдянов Н.И.</i>	12 (1416)	55
ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Термомеханическое упрочнение проката в потоке трубопрокатного агрегата. <i>Швейкин В.П., Смирнов С.В., Нестеренко А.В.</i>	1 (1405)	74
Разработка центрователей станов поперечно-винтовой прокатки и радиально-ковочных машин. <i>Коваль Г.И., Закарлюкин С.И.</i>	1 (1405)	78
Комплексная оценка надежности и долговечности магистральных трубопроводов. <i>Филиппов Г.А., Шабалов И.П., Ливанова О.В., Мишетьян А.Р.</i>	2 (1406)	63
Характеристика бурильных труб и обзор трубных заготовок, применяемых в современном геологоразведочном бурении. <i>Приймак Е.Ю.</i>	2 (1406)	70
Освоение обжатия непрерывнолитой заготовки на трехвалковом стане Асселя ОАО ПНТЗ. <i>Чернышев Ю.М., Халдин Д.В., Белокозович Ю.Б. и др.</i>	2 (1406)	76
Динамические особенности функционирования силовой линии стана холодной прокатки труб роликами. <i>Рахманов С.Р., Ореценко В.Ф., Вышинский В.Т.</i>	3 (1407)	93
Применение метода координатных сеток для экспериментального исследования процесса прессования труб с боковым истечением. <i>Космацкий Я.И.</i>	4 (1408)	73

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
Металловедческие закономерности влияния углерода, марганца и кремния на хладостойкость трубной стали 10Г2ФБЮ/К60. <i>Семенюк П.П., Кумуржи Е.В., Великоцкий Р.Е. и др.</i>	4 (1408)	80
Антикоррозионная защита ленточными материалами трубопроводов в условиях химической агрессивных сред и сложных климатических условиях. <i>Максимов Е.А.</i>	5 (1409)	74
Оптимизация легирования трубной стали 10Г2ФБЮ/К60 с целью повышения хладостойкости. <i>Семенюк П.П., Кумуржи Е.В., Великоцкий Р.Е. и др.</i>	5 (1409)	79
Современная технология нанесения полиэтиленового, полипропиленового и эпоксидного покрытий на магистральные трубопроводы. <i>Максимов Е.А.</i>	6 (1410)	80
Динамические особенности функционирования главного привода стана. <i>Рахманов С.Р.</i>	6 (1410)	89
Некоторые особенности функционирования замкнутой силовой линии прошивного стана. <i>Рахманов С.Р.</i>	7 (1411)	96
Комплексное моделирование динамики механизма удержания оправки прошивного стана. <i>Рахманов С.Р., Гармашев Д.Ю.</i>	8 (1412)	83
Технология и оборудование для нанесения защитных антикоррозионных покрытий магистральных трубопроводов. <i>Максимов Е.А.</i>	9 (1413)	67
Влияние трубного передела на изменение микроструктуры и механических свойств рулонного проката системы микролегирования V–N. <i>Науменко В.В., Багмет О.А., Баранова О.А.</i>	12 (1416)	59
МЕТИЗНОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Метод фрактального моделирования насыпной садки при ее нагреве в термической печи. <i>Перевезенцев Г.А., Колибаба О.Б., Горбунов В.А.</i>	1 (1405)	84
Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 1. Углеродсодержащие добавки для сварочных флюсов. <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др.</i>	4 (1408)	86
Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца. <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др.</i>	5 (1409)	85
Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 3. Флюс-добавки для сварочных флюсов, содержащие барий-стронциевый карбонатит. <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др.</i>	6 (1410)	95
Моделирование процесса калибрующего обжатия прядей канатов двойной свивки в программном комплексе DEFORM-3D. <i>Харитонов В.А., Иванцов А.Б., Лантева Т.А.</i>	6 (1410)	98
Динамика развития температурного поля приповерхностного слоя проволоки при волочении. <i>Сметнёва Н.Ю., Иванцов А.Б., Шишкова С.Г.</i>	7 (1411)	104
Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей. <i>Харитонов В.А., Усанов М.Ю.</i>	8 (1412)	92
Зависимость прямолинейности металлокорда от параметров деформации перед намоткой на катушку. <i>Веденев А.В., Бобарикин Ю.Л., Мартыанов Ю.В.</i>	9 (1413)	77
Дефекты формы и размеров сварных соединений металлокорда. <i>Куренкова Т.П., Борисовец И.В., Сахарная А.А.</i>	10 (1414)	90
ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ОГНЕУПОРОВ		
Исследование свойств периклазоуглеродистых огнеупоров, сформованных новым способом. <i>Кащеев И.Д., Земляной К.Г., Чевычелов А.В. и др.</i>	5 (1409)	90
Стойкость футеровки ДСП в условиях использования горячебрикетированного железа в шихте. <i>Коростелёв А.А., Сёмин А.Е., Котельников Г.И. и др.</i>	11 (1415)	77
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО		
Двухвалковый прокатный стан с подогреваемыми валками для теплой прокатки. <i>Сарафанов М.А., Соломичев Н.В., Лукашевский В.Е. и др.</i>	3 (1407)	101
Разработка и внедрение трехвалковых станков холодной прокатки резьб с крупным шагом. <i>Котенок В.И., Боровик А.А., Обухов М.Е., Исаев Д.М.</i>	5 (1409)	93
Информационное сообщение о ежегодном общем собрании членов Международного союза производителей металлургического оборудования “Металлургомаш”	6 (1410)	104
Применение низкотемпературной плазмы для повышения эксплуатационного ресурса плужного лемеха сельскохозяйственных машин. <i>Самойлович Ю.А.</i>	9 (1413)	81
Разработка системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи. <i>Ерньоко С.П., Ткачев М.Ю., Смирнов Е.Н., Скляр В.А.</i>	12 (1416)	66
Разработка нового состава специального чугуна для отливок, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа. <i>Колокольцев А.В., Потапов М.Г., Михайлов А.В. и др.</i>	12 (1416)	70
Особенности стационарных систем вибрационного контроля металлургических машин. <i>Сидоров В.А.</i>	12 (1416)	73

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ИНВЕСТИЦИИ		
Актуальные проблемы функционирования предприятий черной металлургии в условиях турбулентной внешней среды. <i>Плещенко В.И.</i>	1 (1405)	87
Анализ развития инновационной экосистемы для предприятий черной металлургии на основе ИКТ. <i>Галицкая Л.В., Филиппов М.С.</i>	6 (1410)	106
Управление отходами ферросплавного производства. <i>Пугин К.Г.</i>	8 (1412)	96
Эффективность рециклинга шлаков от установок печь-ковш в электропечах. <i>Сорокин Ю.В., Демин Б.Л., Щербаков Е.Н.</i>	10 (1414)	94
Феномен трудовой династии на производственном предприятии: история и современность. <i>Плещенко В.И.</i>	11 (1415)	86
ЭКОЛОГИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ		
Анализ потенциала использования тепла отходящих газов нагревательных печей. <i>Ганул А.О., Мордовкин Д.С., Дождиков В.И.</i>	1 (1405)	92
Подготовка отходов процесса прямого восстановления железа для дальнейшего использования в металлургических переделах. <i>Тимофеева Д.С., Кожухова В.И., Тимофеева А.С.</i>	1 (1405)	94
Исследование эффективности работы газоочистного оборудования после доменной печи на основе математического моделирования. <i>Егорова Е.С., Долинин Д.А.</i>	2 (1406)	82
Интенсификация конвективного теплообмена в нагревательных и термических печах. <i>Бирюков А.Б., Гнителив П.А.</i>	3 (1407)	105
Высококачественные марганецсодержащие материалы из отходов ферросплавного производства. <i>Нохрина О.И., Рожихин И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А.</i>	4 (1408)	90
Характеристика осадков водного хозяйства предприятий черной металлургии. <i>Аксенов В.И., Царев Н.С.</i>	5 (1409)	99
Сушка и подогрев металлолома в электросталеплавильном производстве: промышленная безопасность, экономика, экология. <i>Савин А.В., Никольский В.Е.</i>	6 (1410)	111
Интенсификация лучистого теплообмена в печах. <i>Бирюков А.Б., Гнителив П.А.</i>	7 (1411)	108
Новые вязущие материалы из техногенных отходов Уральского региона для изготовления литевых форм. <i>Руднов В.С., Беляков В.А.</i>	8 (1412)	99
Термическая стабилизация рафинировочных самораспадающихся шлаков УКП в установках роторного типа. <i>Демин Б.Л., Сорокин Ю.В., Щербаков Е.Н., Смирнов Л.А.</i>	9 (1413)	90
Переработка и использование твердых техногенных отходов — отвальных металлургических шлаков для получения кальцийсодержащих ферросплавов. <i>Исагулов А.З., Байсанов А.С., Махамбетов Е.Н. и др.</i>	9 (1413)	95
Исследование кинетики восстановления оксидов цинка и железа с целью разработки технологии по утилизации цинксодержащих пылей металлургического производства. <i>Юрьев Б. П., Гольцев В. А., Дудко В. А.</i>	10 (1414)	96
Очистка промышленного парового конденсата. <i>Галкин Ю.А., Уласовец Е.А., Селицкий Г.А., Ермаков Д.В.</i>	10 (1414)	105
Разработка катализаторов очистки токсичных выбросов на основе отвальных шлаков черной металлургии. <i>Павлович Л.Б., Исмагилов З.Р., Страхов В.М.</i>	11 (1415)	90
Влияние длины диффузионного факела на теплоперенос при обжиге сыпучих во вращающейся печи. <i>Просветов И.В., Коришиков В.Д., Чмырев И.Н.</i>	12 (1416)	84
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ		
Результаты фундаментальных и прикладных научных исследований ИГД УрО РАН за 2012–2016 гг. <i>Корнилов С.В., Яковлев В.Л., Глебов А.В., Панжин А.А.</i>	1 (1405)	98
Активизация, популяризация инновационной, рационализаторской и изобретательской деятельности в ОАО ММК. <i>Денисов С.В., Шевченко С.В., Мычак М.Н.</i>	4 (1408)	96
НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ПЕРИОДИКИ		
	1 (1405)	103
	2 (1406)	87
	3 (1407)	112
	4 (1408)	101
	5 (1409)	105
	6 (1410)	116
	7 (1411)	114
	8 (1412)	104
	9 (1413)	98
	10 (1414)	108
	11 (1415)	98
	12 (1416)	87
ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ		
	1 (1405)	107
	2 (1406)	90
	3 (1407)	115

Раздел, названия, автор	Вып. Бюллетеня	Стр.
	4 (1408)	104
	5 (1409)	108
	6 (1410)	119
	7 (1411)	117
	8 (1412)	107
	9 (1413)	101
	10 (1414)	111
	11 (1415)	101
	12 (1416)	90
ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ		
Металл-Экспо'2016: индикатор развития металлургической промышленности	1 (1405)	117
Обзор докладов участников молодежной секции XXII Международной научно-практической конференции "Трубы-2016". <i>Космацкий Я.И.</i>	1 (1405)	119
	8 (1412)	118
	9 (1413)	110
	10 (1414)	120
	12 (1416)	98
Знаменательные даты и события	11 (1415)	113
Аннотации к статьям	1 (1405)	121
	2 (1406)	99
	3 (1407)	125
	4 (1408)	112
	5 (1409)	117
	6 (1410)	128
	7 (1411)	126
	8 (1412)	119
	9 (1413)	113
	10 (1414)	121
	11 (1415)	114
	12 (1416)	102
Статистика	1 (1405)	130
	2 (1406)	107
	3 (1407)	133
	4 (1408)	120
	5 (1409)	126
	6 (1410)	136
	7 (1411)	134
	8 (1412)	128
	9 (1413)	122
	10 (1414)	130
	11 (1415)	122
	12 (1416)	112