

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного
индустриального университета посвящается*

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 43

Москва
Новокузнецк
2020

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 43 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянецв (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2020. – 272 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 89, табл. 61, библиогр. назв. 276.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянецв М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спиринов Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Бабенко А.А.	д-р техн. наук, проф., Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Козырев Н.А.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Немчинова Н.В.	д-р техн. наук, проф., ИрНИТУ, г. Иркутск
Нохрина О.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Рожихина И.Д.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	8
<i>М.В. Темлянецв, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Современная металлургия: технологии, доминирующие тенденции, прогнозы	9
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: состояние производства и металлопродукция	20
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: минерально-сырьевая база и производство молибденовых концентратов.....	32
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, К.С. Ёлкин, М.А. Голодова</i> Современное состояние мирового и отечественного производства ферросплавов	47
<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Металлизация оксиджелезосодержащих отходов с использованием различных углеродистых восстановителей.....	63
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, И.Е. Ходосов, К.С. Ёлкин</i> Изучение состава и характеристик шлаков рафинирования кремния	77
<i>К.С. Ёлкин, И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, А.В. Сивцов, И.М. Кашлев, А.И. Карлина, Д.К. Ёлкин</i> Анализ показателей производства кремния и ферросилиция с учетом генетических особенностей кварцитов	85
<i>А.А. Александров, В.Я. Дашевский</i> Термодинамический анализ растворения кислорода в никель- кобальтовых расплавах	95
<i>Д.А. Есенгалиев, А.З. Исагулов, С.О. Байсанов, А.С. Байсанов, О.В. Заякин</i> Термодинамика углеродо- и металлотермического восстановления марганца.....	102
<i>А.А. Бабенко, Р.Р. Шартдинов, А.Г. Уполовникова, А.Н. Сметанников, В.С. Гуляков</i> Исследование свойств высокоосновных борсодержащих шлаков	108
<i>К.С. Ёлкин, И.М. Кашлев, А.И. Карлина</i> Рафинирование кремния и кремнистых ферросплавов от примесей....	113
<i>А.З. Исагулов, Д.Р. Аубакиров</i> Причины образования и предупреждение литейных дефектов в мелющих шарах.....	120

<i>Д.А. Лубяной, Р.О. Мамедов, С.В. Князев</i> Ресурсо- и энергосбережение в технологии получения стальных отливок с термовременной обработкой.....	126
<i>Т.В. Ковалева, Е.Н. Еремин</i> Повышение эксплуатационных характеристик оболочковой формы..	133
<i>А.В. Кожевников, А.С. Смирнов, Ю.В. Платонов</i> Исследование возникновения вибраций при холодной прокатке полосы.....	138
<i>Е.А. Пинаев, М.В. Темлянец, Е.Н. Темлянцева, Н.И. Кувшинникова</i> исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг	144
<i>Н.В. Немчинова, А.А. Яковлева, А.А. Тютрин, О.П. Гудкова</i> Опробование песков прибайкалья в качестве барьерных материалов для алюминиевого электролизера	152
Порошковая металлургия и композиционные материалы.....	158
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.Е. Аникин, Т.И. Алексеева</i> Исследование механизма образования карбида циркония в условиях плазменного потока азота	159
<i>Д.К. Ёлкин, К.С. Ёлкин, А.В. Сивцов</i> Научные и технологические основы получения «активного» карбида кремния	171
Физика металлов и металловедение	175
<i>А.М. Анасов</i> Явление формирования металлической связи между атомами соприкасающихся свободных поверхностей трещиноподобных дефектов при воздействии излучения оптического квантового генератора	176
<i>А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, Н.Р. Эсанов</i> Анодное поведение алюминиевого-железowego сплава АЖ 2,18 с иттрием, гадолинием и эрбием, в среде электролита 0,3 %-ного NaCl.....	180
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, К.А. Бутакова, А.Н. Гостевская, А.А. Усольцев</i> Изучение микроструктуры сварных соединений рельсов из стали марки Э76ХФ.....	187
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Н. Гостевская, К.А. Бутакова, А.А. Усольцев</i> Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ.....	195

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ... 201

Л.Н. Шевелев

Повышение энергоэффективности и экологической безопасности доменного и сталеплавильного производств 202

С.Г. Галевский

Субъектно-ориентированный подход в оценке доходности металлургических компаний..... 208

С.Г. Галевский

Оценка эффективности металлургических инвестиционных проектов на основе корректного учета рисков 216

Е.Л. Медиокритский

Утилизация твердых бытовых отходов в польше: подходы и опыт решения вопросов..... 226

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 234

М.В. Темлянцев, Г.В. Галевский

Подготовка кадров для современной металлургии: задачи. Инновации. Перспективы. (итоги тематической деловой встречи) 235

Е.Г. Оршанская

Применение дистанционных технологий в процессе изучения иностранных языков в вузе 239

Р.И. Ким, Я.Ю. Хомичев, О.А. Угольникова

Оценка физической подготовленности обучающихся как показатель эффективности физического воспитания в вузе. 245

О.А. Угольникова, Р.И. Ким, Е.Е. Григораиш

Сопоставительные нормативы для оценки физической и функциональной подготовленности женщин-борцов 249

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ 255

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева

Синтез алмазов: развитие теории и технологические прогнозы профессора О.И. Лейпунского (к 110-летию со дня рождения и 80-летию его великого открытия) 256

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева

Профессор Т. Холл – ученый, технолог, конструктор (к 100-летию со дня рождения)..... 263

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ..... 270

УДК 669(06)

М.В. Темлянцев, Г.В. Галевский, В.В. Руднева

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

СОВРЕМЕННАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ

Приведен обзор докладов, представленных на XXI Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество» (23 – 24 октября 2019 г., СибГИУ, Россия, г. Новокузнецк).

An overview of the reports presented at the XXI International Scientific and Practical Conference «Metallurgy: Technology, Innovation, Industry» (October 23 - 24, 2019, SibSIU, Russia, Novokuznetsk) is given.

23-24 октября 2019 г. на площадке СибГИУ (г. Новокузнецк) состоялась XXI Международная научно-практическая конференция «Металлургия: технологии, инновации, качество», посвященная 90-летию СМИ – СибГГМА – СибГИУ. Работа конференции была организована в рамках пленарного заседания и заседаний следующих секций: фундаментальные исследования, теория, моделирование и технологии металлургических процессов; теория и технология обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка; теория и технология процессов сварки, порошковой металлургии и получения композиционных материалов и покрытий; тепло- и массоперенос в металлургических процессах и агрегатах; ресурсо- и энергосбережение, экология и утилизация отходов.

В работе конференции приняли участие ученые – металлурги и ведущие специалисты промышленных предприятий России, Китая, Японии, Великобритании, Германии, Бразилии, Австрии, Израиля, Польши, Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, Украины, Беларуси, Латвии, представляющие 80 образовательных и научных организаций, промышленных предприятий из 40 городов России и зарубежья, направивших в адрес Организационного комитета 160 докладов.

Конференцию открыл д-р техн. наук, ректор СибГИУ Е.В. Протопопов, председатель Оргкомитета, огласивший приветствие участникам председателем Программного комитета академика РАН Л.А. Смирнова (г. Екатеринбург).

Ниже приведен обзор докладов, посвященных решению научных и прикладных задач в области черной металлургии, вызвавших наибольший интерес у участников конференции.

Д-р техн. наук М.В. Темлянцев (СибГИУ, Россия) представил научно-образовательный центр мирового уровня «КУЗБАСС» – один из пяти центров такого уровня, созданных в Пермском крае, Белгородской, Кемеровской, Ни-

жегородской и Тюменской областях в 2019 г. на основании Постановления правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 537 «О мерах государственной поддержки научно-образовательных центров мирового уровня на основе интеграции образовательных организаций высшего образования и научных организаций и их кооперации с организациями, действующими в реальном секторе экономики».

НОЦы представляют собой объединения потенциалов ведущих научных и образовательных организаций высшего образования с организациями реального сектора экономики, проводящие научные исследования и разработки мирового уровня, результатом которых является получение новых конкурентоспособных технологий и продуктов и их коммерциализация, осуществляющие подготовку кадров для решения крупных научно-технологических задач по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации.

В Кузбассе, являющемся одним из центров угледобывающей и металлургической промышленности России, создан НОЦ, объединенный концептуальной идеей «Чистый уголь – зеленый Кузбасс», включающий широкий спектр направлений, в числе которых инновационные технологии добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых, металлургия, машиностроение, экология, медицина, цифровизация и информационные технологии. Одним из флагманских проектов в области металлургии является проект «Рельсы 2,5» или «Высокостойкие рельсы». Инициаторами проекта являются Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк), ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина (г. Москва), АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». Основной целью проекта является создание мирового научно-технологического превосходства в производстве и эксплуатации рельсовой продукции различного назначения.

В мировой повестке проект имеет большое научно-практическое значение, направлен на создание железнодорожных рельсов с особыми эксплуатационными свойствами (повышенной хладостойкости, износостойкости, контактно-усталостной выносливости и др.), имеющих ресурс не менее 2,5 млрд. тонн брутто пропущенного груза, и включает комплекс фундаментальных теоретических и прикладных исследований в области металлургии, материаловедения, трибологии, физики прочности, технологий и оборудования для производства рельсов и их обслуживания в пути.

Д-р техн. наук Г.В. Галевский (СибГИУ, Институт металлургии и материаловедения, Россия) охарактеризовал состояние и перспективы развития сибирского металлургического кластера России, основу которого составляет металлургия Кузбасса. В 2018 г. в промышленном секторе Кузбасса реализовалась следующая отраслевая структура (% от выручки ПС): угольная промышленность – 51,5, черная металлургия – 24,3, энергетика – 8,5, черная металлургия (лом и металлопереработка) – 4,1, химическая и нефтехимическая промышленность – 3,1, пищевая промышленность – 2,8, цветная металлургия – 2,3, промышленность строительных материалов и металлоконструкций – 2,0, машиностроение – 1,4. Металлургия, угледобыча и переработка обеспе-

чивают общероссийские приоритеты Кемеровской области в производстве таких важнейших видов промышленной продукции, как трамвайные рельсы – 100 %, магистральные рельсы – 65 %, уголь и угольный концентрат – 58,5 %, ферросилиций – 52,6 %, прокат – 10,7 %, сталь – 9,9 %. Metallургический комплекс включает семь предприятий, географически размещенных в трех городах: Новокузнецк – АО «ЕВРАЗ ЗСМК», АО «Кузнецкие ферросплавы», АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод», ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод»; Гурьевск – АО «Гурьевский металлургический завод», Юрга – Юргинский ферросплавный завод – филиал АО «Кузнецкие ферросплавы». Номенклатура металлопродукции включает чугун, сталь, все виды рельсов, прокат (строительный, шары, метизы), кремний-, марганецсодержащие ферросплавы, алюминий и алюминиевые сплавы. В 2019 г. прогнозируется производство, млн. т: кокса 3,5; чугуна 6,0; стали 7,5; строительного проката 5,2; рельсов 0,85; алюминия 0,21; мелющих шаров 0,4. Общая численность занятых на металлургических предприятиях составляет 29 тыс., что составляет 2 % от трудоспособного населения Кузбасса, составляющего 1481 тыс. (55,4 % от общей численности населения Кузбасса). Общее потребление электроэнергии металлургическими предприятиями составляет 10299 млн. кВт·ч или 28,51 % от общего потребления электроэнергии по Кузбассу. При этом потребление электроэнергии металлургическими предприятиями составляет, %: АО «РУСАЛ Новокузнецкий алюминиевый завод» - 9,97, АО «ЕВРАЗ ЗСМК» - 9,4, АО «Кузнецкие ферросплавы» - 9,0, АО «Гурьевский металлургический завод» - 0,14. В течение последних 15 лет на металлургических предприятиях реализованы разнопрофильные природоохранные программы, что привело к снижению выбросов в воздушный бассейн на 70 % и забора свежей воды до 7,2 % от объема воды оборотного повторно-последовательного водоснабжения, составляющего 1,97 млрд. м³. Приоритетные направления модернизации и реконструкции металлургических предприятий включают совершенствование производства и сварки магистральных рельсов, освоение производства листовой металлопродукции на литейно-прокатном комплексе, производство длинномерных профилей волочением, переход на современную технологию электролизного производства алюминия, освоение технологий рециклинга алюминия и свинца.

Д-р экон. наук Л.Н. Шевелев (ЦНИИЧермет имени И.П. Бардина, Россия) представил основные направления повышения энергоэффективности производства чугуна и стали в России, оценку экономической и энергетической эффективности реализации прорывных инновационных энергосберегающих технологий в доменном и сталеплавильном производствах, инструменты стимулирования снижения выбросов парниковых газов. К приоритетам в реализации энергосберегающих технологий относятся рециклинг доменного газа (до газификации энергетических углей в газогенераторах), производство рудоугольных брикетов и использование в доменном и электросталеплавильном производствах (автоматические линии на фабрике брикетирования). В результате совокупной реализации этих технологий исключаются высокоуг-

леродистые переделы (окисленные окатыши, кокс, агломерат), а также осуществляется замена дорогих покупных ископаемых видов топлива (коксующихся углей, кокса, природного газа, покупной электроэнергии) собственным дешевым вторичным энергоресурсом (восстановительным газом $\text{CO}+\text{H}_2$). Прогнозные расчеты показывают, что переход на рудоугольные брикеты с рециклингом доменного газа и применение генераторного газа как аналога восстановительного газа обеспечивает снижение себестоимости жидкого чугуна на 30 % (за счет сокращения материальных и топливно-энергетических ресурсов), сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу на 60 %, вредных веществ – на 70 %.

Чжан Кэ («CINF-COMPANY», Китай) представил основные направления деятельности компании: геология, добыча и обогащение руды (в т.ч. технологии разработки глубоких шахт более 1000 м, ультрабольших рудных месторождений в условиях высокогорья и арктических районов, технология контактной колонно-надувной флотации и др.), оборудование и технологии плавки и рециклинга черных, цветных и рассеянных металлов, защита окружающей среды (профилактика воды при освоении подземных рудников, очистка сточных вод от тяжелых металлов, фтора, для коммунального хозяйства), использование новых источников энергии, комплексное оборудование для автоматического управления (система измерения толщины футеровки, электронные датчики температуры и уровня жидкости, разнопрофильное лазерное оборудование и др.). В настоящее время компания занимается инженерным консультированием, проектированием, генеральным подрядом проектов, инженерными изысканиями и надзором, экологической и экономической оценкой, научными исследованиями и научно-технологическими разработками в Китае и 10 странах Европы и Азии.

Д-р техн. наук Н.А. Спири (УрФУ, Россия) представил аналитическое сравнение схем теплообмена в доменной печи по мере совершенствования технологии доменной плавки. Подтверждено, что для исследования и оценки теплового состояния доменную печь как объект управления целесообразно по-прежнему делить на две тепловые зоны, верхнюю и нижнюю, граница раздела между которыми располагается в верхней части области смешанного восстановления, между уровнем начала газификации углерода кокса и горизонтом, ниже которого оксиды восстанавливаются прямым путем. На основе экспериментальных и теоретических исследований показано, что описанная схема теплообмена и в современных условиях плавки различного вида железорудного сырья, использования комбинированного дутья высоких параметров является обязательным условием устойчивости хода доменного процесса и экономичности плавки. Любые изменения технологии современной доменной плавки не должны менять этой схемы.

Д-р техн. наук В.В. Лавров (УрФУ, Россия) представил возможности разработанной и внедренной в опытно-промышленную эксплуатацию АО «Магнитогорский металлургический комбинат» модельной системы поддержки принятия решений (модель доменного процесса УрФУ – ММК) для

диагностики работы и прогнозирования технологических ситуаций доменных печей. Основные модельные блоки позволяют выполнить: расчет материальных и тепловых балансов; моделирование теплового, шлакового и газодинамического режимов работы доменных печей, выбор состава доменной шихты, расчет зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов и прогнозирование технологических ситуаций. Модельная система реализована в виде комплекса программных модулей и интегрирована в информационную систему АО «ММК». Программный модуль «Зона вязкопластичного состояния железорудных материалов доменной печи» осуществляет модельный расчет комплекса параметров, характеризующих радиальную неравномерность на доменных печах. В модуль включен расчет температурных характеристик плавления железорудных материалов, используемых в плавке, что позволяет отображать вид и расположение зоны когезии в профиле рассматриваемой печи. Программный модуль «Шлаковый режим» позволяет определять важнейшие свойства шлакового расплава для реализации нормального шлакового режима плавки, обоснованно находить соотношение железорудных материалов, обеспечивающих получение шлака надлежащих свойств по вязкости и градиенту вязкости, и получать чугун надлежащего качества по содержанию серы. Программный модуль «Газодинамика доменной плавки» осуществляет расчет и визуальное отображение газодинамических характеристик слоя шихтовых материалов, а также оценку изменения перепадов давления и степени уравнивания шихты в отдельных зонах печи в проектный период при изменении параметров загружаемой шихты. Модуль расчета материальных и теплового балансов плавки включает как выполнение общих общепризнанных балансов, так и расчеты балансов железа, серы, марганца, титана. Представлены некоторые результаты практического использования разработанной системы, а также приведены рекомендации по определенным аспектам решения технологических задач на основе применения модельной системы поддержки принятия решений.

Канд. техн. наук А.Н. Калиногорский (СибГИУ, Институт металлургии и материаловедения, Россия) представил результаты анализа современного состояния и направлений развития сталеплавильного производства.

Мировое производство стали, по данным World Steel Association (WSA), составляет 1808,6 млн. т. При этом Китай, с объемом производства 928,3 млн. т, остается лидером по выпуску стали. Индия занимает вторую позицию, увеличив производство на 4,9 % до 106,5 млн. т и обогнав Японию, где производство снизилось на 0,3 %. США удерживают четвертую позицию – 86,7 млн. т. Россия переместилась на шестую позицию, после Южной Кореи, с объемом выпуска 71,8 млн. т, что составляет 4 % общемирового производства.

Производство стали в России кислородно-конвертерным способом немного снизилось и составило 64,1 %, а электростали – увеличилось до 33,7 %. С выводом мощностей на Выксунском металлургическом заводе выплавка мартеновской стали сократилась по итогам года до 2,2 %.

Неотъемлемыми составными элементами современной технологии выплавки стали в кислородных конвертерах являются: использование специальных конструкций дутьевых устройств; отсечка шлака во время выпуска; автоматизация процесса для обеспечения устойчивых результатов; система предотвращения выбросов для увеличения выхода годного, совершенствования управления технологическим процессом и обеспечения безопасности персонала.

Электродпечь, по мере развития технологий и оборудования, постепенно превратилась в универсальный плавильный агрегат, оснащенный топливными горелками и фурмами для вдувания газа и пылеугольных материалов, кислородного дутья, донными устройствами для перемешивания, эркерным выпуском металла.

Развитие методов внепечной металлургии значительно изменило технологический процесс производства стали. Конвертер и электродпечь превращаются в агрегаты для выплавки полупродукта. За ними в производственной цепочке стоят агрегаты внепечной обработки стали и машины непрерывного литья заготовок. Установки ковш-печь с вакуумированием наиболее многопрофильны в современных условиях, в них можно проводить практически всю обработку стали, особенно если предусмотрена возможность скачивания шлака из ковша. Совершенствование установок внепечной металлургии направлено главным образом на интенсификацию перемешивания металла в ковше, что осуществляется за счет совершенствования оборудования для ввода инертного газа, расположения продувочных устройств, периода и интенсивности подачи газа. Модернизация агрегатов порционного и циркуляционного вакуумирования включает изменение конструкции камеры и патрубков.

О. Шлик («Accusteel Ltd.», Израиль) представил акустическую компьютерную систему контроля и управления электродуговым и конвертерным производством стали «ACCUSTEEL», формирующую информацию в реальном времени по ходу технологического процесса о среднemasсовой температуре, химическом составе и поведении шлако-металлической эмульсии как результат обработки шума плавки. Недостатки применяемых в настоящее время на металлургических агрегатах сертифицированных компьютерных комплексов и систем вынуждают вести технологический процесс с перегревом расплава на 80-100 °С. Разработанная система успешно опробована на сталеплавильных предприятиях США, Бразилии, России. Подтверждено, что управление энергетическим (дутьевым, электрическим) и шлаковым режимами плавки позволяет оптимизировать процесс с повышением производительности агрегата на 30 %, выхода годного на 10 %, снижением энергозатрат на 20 %, расхода раскислителей и ферросплавов, предотвращением выбросов и выносов, сокращением объемов вредных газов, улучшением санитарно-гигиенических условий труда технологического персонала.

Д-р техн. наук О.И. Нохрина (СибГИУ, Институт металлургии и материаловедения, Россия) представила общую характеристику состояния ферросплавного производства в мире и России и доминирующие тенденции его

развития. Показано, что перспективы развития мировой ферросплавной продукции определяются соответствующими трендами «большой» металлургии, особенно в производстве качественных сталей. Потребление ферросплавов на 1 т стали в 2018 г. в среднем составляло 20 кг, в т.ч. в %: феррохром – 20, ферросилиций – 18, силикомарганец – 22, ферромарганец высокоуглеродистый 12, рафинированные марганцевые сплавы и металлический марганец – 5, ферроникель – 4, прочие – 19. Представлены показатели производства и потребления марганцевых сплавов, ферросилиция и кремния кристаллического, сплавов хрома, ферросплавов малотоннажной группы (никеля, титана, ниобия, ванадия, молибдена, вольфрама и др.). Показаны изменения в структуре производства ферросплавов в мире и России в период с 2009 по 2018 гг. Определено, что в условиях обострения борьбы за внутренний и мировой рынки ферросплавов, усиления импортозамещения продукции актуальной задачей остается повышение конкурентоспособности ферросплавных предприятий России за счет снижения производственных затрат и улучшения качества продукции. Прогнозируемое к 2020 г. увеличение выплавки стали, в первую очередь высоколегированной и низколегированной стали группы HSLA, потребует соответствующего увеличения выпуска ферросплавов и ферросплавного сырья. Для достижения этих целей необходимо прежде всего решить вопросы энергообеспечения ферросплавных предприятий и повышения энергоэффективности ферросплавных переделов, а также обеспечения квалифицированным персоналом, требования к которому постоянно растут. Решение проблем на основе миграционных ресурсов, как показывает зарубежный опыт, повышает технологические риски.

Д-р техн. наук А.Р. Фастыковский (СибГИУ, Институт металлургии и материаловедения, Россия) представил анализ доминирующих тенденций в развитии технологий обработки металлов давлением.

Показано, что наряду с увеличением объемов производства металлопродукции способами обработки металлов давлением все отчетливее встают задачи улучшения качества, расширения сортамента и снижение энергозатрат. Эффективное решение поставленных задач возможно при поиске новых нетрадиционных подходов, существенно расширяющих возможности способов обработки металлов давлением. Современными тенденциями развития способов обработки металлов давлением являются совмещенные способы обработки, такие как прокатка-прессование, литье – прокатка – прессование. Рассмотрено современное состояние развития литейно-прокатных агрегатов (ЛПА) и возможные схемы реализации прокатки-прессования, литья-прокатки-прессования. Проведенный анализ позволил сделать вывод, что несмотря на все достоинства совмещенных способов обработки металлов давлением, их промышленная реализация вызывает затруднения, связанные с недостаточной изученностью процессов формоизменения как теоретически, так и экспериментально. С целью возможности прогнозирования и проектирования эффективных режимов деформирования при реализации процесса прокатки-прессования определены зависимости для прогнозирования энерго-

силовых параметров, учитывающие не только конструктивные особенности калибров, компоновку оборудования, но и режимы формоизменения. Доказано, что расстояние от матрицы до линии, соединяющей центры валков существенно влияет на энергозатраты и суммарный коэффициент вытяжки. Даны рекомендации по выбору оптимального места размещения матрицы, гарантирующего максимальный суммарный коэффициент вытяжки при минимальных затратах энергии. Предложена математическая модель совмещенного процесса прокатки-прессования, позволяющая определить его область осуществимости. Разработаны рекомендации по повышению эффективности формоизменения, выбору конструкции и компоновки оборудования при реализации процесса прокатки-прессования.

Д-р техн. наук Н.А. Козырев (СибГИУ, Институт металлургии и материаловедения, Россия) представил новую технологию сварки железнодорожных рельсовых плетей, отличающуюся от общепринятого в настоящее время в Российской Федерации, в соответствии с которым сварные стыки рельсовых плетей после сварки обязательно подвергаются термической обработке на индукционных установках с целью исключения образования структур закалки (мартенсита и бейнита), вызывающих дополнительные напряжения и трещины, приводящие к разрушению рельсов. При этом локальная термическая обработка сварного стыка приводит к расширению и появлению новых зон термического влияния по сравнению с зонами, сформированными при сварке рельсов контактным способом без термической обработки. Разработанный альтернативный способ решения проблемы предполагает после осадки и охлаждения сварного стыка в момент достижения необходимой температуры удерживать заданную температуру путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык. Температура выдержки выбирается исходя из получения более мелкодисперсной структуры металла шва. Время выдержки определяется инкубационным периодом образования необходимой структуры и регулируется количеством импульсов тока. В результате проведенных промышленных экспериментов в условиях рельсосварочного предприятия РСП-29 на машине для контактной стыковой сварки МСР-6301 определены оптимальные параметры: время охлаждения после осадки (характеризуется скоростью охлаждения) и температурой, до которой происходит охлаждение); время подогрева (характеризуется температурой, до которой происходит нагрев); время охлаждения после подогрева (характеризуется температурой, до которой происходит охлаждение); количество импульсов подогрева (характеризуется инкубационным периодом превращения аустенита в перлит). Разработанный способ контактной стыковой сварки позволяет получать сварные соединения изделий из рельсовой стали с параметрами, превосходящими технические требования СТО РЖД 1.08.002-2009 для рельсов типа Р65 категории ДТ350.

Канд. техн. наук Л.А. Ганзер (СибГИУ, Россия) обобщила опыт переработки скрапа шлакометаллического в 160 т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Предлагаемая технология восстановления оксидов железа из шлаковой со-

ставляющей скрапа позволяет вернуть в производство железо, содержащееся в оксидной форме, снизить расход металлического лома и характеризуется следующими показателями: содержание фосфора и серы в металле перед выпуском 0,017 % и 0,02 % при снижении концентрации меди на 16 %, никеля – на 12,5 %.

Канд. техн. наук И.Е. Прошунин (АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Россия) представил результаты исследований обогащения железомарганцевых конкреций с использованием различных растворителей. Предложены универсальные технологии переработки марганцевого сырья, включающие его автоклавное выщелачивание водными растворами хлоридов, которые позволяют извлекать марганец в раствор из соединений как различных оксидных, так и карбонатной форм. Извлечение марганца составляет более 90%. Введение в хлоркальциевый процесс обогащения железомарганцевых конкреций сульфатов железа позволяет повысить извлечение марганца в 2,3, кобальта в 3,2, никеля в 2,5 раза. Выщелачивание железомарганцевых конкреций водным раствором соляной кислоты с нейтрализацией её избыточной концентрации введением карбонатной марганцевой руды позволяет получить извлечение цветных металлов в раствор 99,80 – 99,88 % и до 95,4 % Mn. В результате обогащения возможно получение марганцевого, медно-никеле-кобальтового и железного концентратов.

Д-р техн. наук К.С. Елкин (ООО «РУСАЛ ИТЦ», Россия) представил результаты исследования влияния генетических особенностей кварцитов на показатели восстановительной плавки кремния и высокопроцентного ферросилиция и степень взаимодействия кварцитов и углеродистых восстановителей, протекающего при нахождении кремнезёма в газовой фазе в различных температурных условиях. Выявлена причина в различии результатов исследований кварцитов. Установлено, что исследуемые кварциты имеют различное строение кристаллов, что и определяет различную степень газификации кремнезёма кварцитов различных месторождений. Кварциты различных месторождений существенно различаются величинами микродеформаций кристаллических решёток, что связано с особенностями геологических условий их образования. Петрографические исследования образцов свидетельствуют об уникальности строения кристаллической микроструктуры кварцитов различных месторождений. Наиболее ярко отличия проявляются в размерах зёрен кварца. Исследования кристаллического строения кварцитов различных месторождений позволили определить удельную поверхность кварцитов месторождений, которые используются в реальном производстве или могут быть использованы в перспективе.

Канд. техн. наук А.В. Гайворонский (ВМЗ, Россия) представил результаты промышленной реализации процесса микролегирования барием колесного металла при внепечной обработке с целью повышения микрочистоты. Использование для модифицирования колесного металла порошковой проволоки с силикобариевым наполнителем вместо порошковой проволоки с силикокальциевым наполнителем СК-30 позволило практически полностью пере-

вести неметаллические включения в глобулярную форму, повысить чистоту стали по всем видам включений, как по среднему, так и по максимальному баллу, несколько измельчить величину зерна металла на 1-2 балла. В опытном металле на глубине 40 мм от поверхности катания колеса, зерно несколько мельче и более равномерное (7 номер), чем по текущей технологии (5-6 номер). Загрязненность неметаллическими включениями опытного металла удовлетворяет требованиям ГОСТ 10791-2011 г. для категории А и стандарту EN 13262: 2004+A2:2011 для категории 1. Освоение технологии серийного производства колесной стали с применением после окончания вакуумирования порошковой проволоки с силикобариевым наполнителем позволит компании выйти на новые рынки сбыта и увеличить объемы экспортных поставок в страны дальнего зарубежья.

Канд. техн. наук А.И. Карлина (ИрНИТУ, Россия) представила анализ технологий и практический опыт очистки кристаллического кремния и кремнистых ферросплавов от примесей. Подтверждено, что способы получения ферросилиция с пониженным содержанием примесей технологически целесообразно разделить на несколько разновидностей: производство ферросилиция с пониженным содержанием алюминия, титана, фосфора за счет использования чистых по примесям шихтовых материалов; производство ферросилиция с пониженным содержанием алюминия, кальция и углерода за счет рафинирования сплава; на конкретных примерах показана практика очистки ферросилиция от примесей.

Канд. техн. наук А.М. Акуов (АРГУ имени К. Жубанова, Казахстан) представил технологию выплавки рафинированного феррохрома с использованием в качестве восстановителя сплава из алюминия, кремния и хрома. На основании полученных результатов показана принципиальная возможность повышения технико-экономических показателей процесса выплавки рафинированного феррохрома посредством замены ферросиликохрома на сплав из алюминия, кремния и хрома с повышением степени извлечения хрома на 5-10%, снижением кратности шлака до 2,48-1,95 и сокращением расхода извести на 30-35%.

Канд. экон. наук С.Г. Галевский (СПбГУ, Россия) предложил методику корректного учета рисков при оценке эффективности инвестиционных проектов металлургических компаний на основе отдельного учета рисков первого и второго рода, что позволяет избежать завышения показателей эффективности проекта и реализации нецелесообразных управленческих решений. Также предлагается методика оценки требуемой доходности металлургических компаний на основе субъектно-ориентированного подхода. Предложена субъективная мера риска, учитывающая особенности восприятия риска инвестором и его осведомленность. На основе концепции соответствия риска и доходности установлена аналитическая взаимосвязь между субъективной мерой риска и уровнем доходности.

Прошедшая научно-практическая конференция подтвердила значительный интерес к ключевым проблемам современной металлургии со стороны

отечественных и зарубежных ученых, менеджеров, профильных исследовательских центров и фирм, их стремление к профессиональному обсуждению и ознакомлению с новейшими результатами исследований и технологических решений в области производства, обработки, сварки металлов и композиционных материалов, ресурсосбережения, рециклинга и экологии, определению доминирующих тенденций и прогнозов на перспективу. Организационный комитет выражает благодарность всем участникам конференции за высокую активность, творческое, эффективное взаимодействие и партнерство и надеется, что обмен опытом, высокопрофессиональное обсуждение актуальных научных проблем станут мощным толчком к их эффективному решению, а труды конференции внесут весомый вклад в пропаганду передовых достижений мировой и отечественной металлургии. Проведение XXII Международной научно-практической конференции «Металлургия: технология, инновации, качество» планируется в октябре 2021 года.