

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2017»**

15 – 16 ноября 2017 г.

*Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 2*

**Новокузнецк
2017**

УДК 669(06)+658.012.056(06)

М 540

Редакционная коллегия

академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с., ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

ОАО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 669.184.244

КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ: СОСТОЯНИЕ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ

Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Фейлер С.В., Ганзер Л.А., Калиногорский А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, protopopov@sibsiu.ru*

Аннотация: Выполнен анализ современного состояния и перспектив развития конвертерного производства в мире. Рассмотрены технологические особенности выплавки конвертерной стали в России и основные направления совершенствования процесса.

Ключевые слова: конвертер, энергоемкость стали, расход чугуна, варианты конвертерных процессов, дутьевые устройства, стойкость футеровки, расход огнеупоров, качество продукции.

BASIC OXYGEN STEELMAKING: STATE, DOMINANT TRENDS, PREDICTIONS

Protopopov E.V., Kuznetsov S.N., Feyler S.V., Ganzer L.A., Kalinogorskiy A.N.

Novokuznetsk, Russia, protopopov@sibsiu.ru

Abstract: The analysis of the current state and prospects of development of converter production in the world is performed. Technological features of steel smelting in Russia and the main directions of process improvement are considered.

Key words: converter, energy intensity of steel, cast iron consumption, variants of converter processes, blowing devices, lining stability, refractory consumption, product quality.

В настоящее время мировое производство стали составляет 1628 млн. т., что на порядок пре- восходит объем производства алюминия, магния, а также выпуск пластиков [1]. При этом по данным World Steel Association в 2016 году наблюдался некоторый рост объема выпуска стали по сравнению с 2015 годом. Характерно, что последние 50 лет выплавка стали росла в основном в развивающихся странах [2], основной вклад в этот процесс внесла КНР, на долю которой в 2016 году пришлось 49,6 % мирового производства. Соответственно доли в выплавке стали таких стран и регионов, как Япония, НАФТА, ЕС, СНГ снизились примерно вдвое при относительно небольших изменениях в абсолютных показателях.

Благодаря вкладу КНР в мире наблюдается рост доли выплавки конвертерной стали, которая достигла в 2016 г. уровня в 74,3 %; доля электростали составила 25,3 %, мартеновской – 0,4 % (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, выплавка стали в 28 странах ЕС составила 162 млн. т., при доле конвертерной стали 60,3 %. Соотношение процессов выплавки в ЕС варьируется от страны к стране, что объясняется исторически сложившимся сортаментом производства, т.е. требованиями потребителей проката, и траекторией развития черной металлургии. Например в Германии, превалирует конвертерное производство стали с долей в 70,1 % из 42,1 млн. т. из-за нацеленности на выпуск листового проката для автомобилестроения.

Доля конвертерной стали в России равна 66,9 % при общем производстве 70,8 млн.т.

Многолетний мировой опыт эксплуатации кислородных конвертеров показал достоинство последних: высокую производительность, достаточно высокую стойкость футеровки, относительную простоту конструкции и эксплуатации оборудования, технологическую гибкость по составам перерабатываемых чугунов. В то же время имеется и ряд существенных недостатков, к которым можно отнести

низкую эффективность перемешивания конвертерной ванны; неравномерность химического состава и температуры металла; чрезмерную окисленность металла и шлака при выплавке низкоуглеродистых сталей; некоторые проблемы в управлении поведением ванны, особенно при вспенивании и образовании выбросов; ограниченные возможности в плане совершенствования теплового баланса плавки.

Таблица 1 – Структура мирового производства стали в 2016 г. [1]

| Страна | Производство стали, млн. т. | Конвертерная сталь, % | Электросталь, % | Мартеновская сталь, % | Другое, % |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| Австрия | 7,4 | 91,0 | 9,0 | - | - |
| Бельгия | 7,7 | 69,3 | 30,7 | - | - |
| Болгария | 0,5 | - | 100,0 | - | - |
| Хорватия | 0,0 | - | 100,0 | - | - |
| Чехия | 5,3 | 94,4 | 5,6 | - | - |
| Финляндия | 4,1 | 67,1 | 32,9 | - | - |
| Франция | 14,4 | 66,1 | 33,9 | - | - |
| Германия | 42,1 | 70,1 | 29,9 | - | - |
| Греция | 1,2 | - | 100,0 | - | - |
| Венгрия | 1,3 | 81,8 | 18,2 | - | - |
| Италия | 23,4 | 24,3 | 75,7 | - | - |
| Люксембург | 2,2 | - | 100,0 | - | - |
| Нидерланды | 6,9 | 98,7 | 1,3 | - | - |
| Польша | 9,0 | 56,8 | 43,2 | - | - |
| Португалия | 2,0 | - | 100,0 | - | - |
| Румыния* | 3,3 | 57,1 | 42,9 | - | - |
| Словакия | 4,8 | 93,7 | 6,3 | - | - |
| Словения | 0,6 | - | 100,0 | - | - |
| Испания | 13,6 | 33,9 | 66,1 | - | - |
| Швеция | 4,6 | 67,3 | 32,7 | - | - |
| Великобритания | 7,6 | 80,6 | 19,4 | - | - |
| ЕС (28 стран) | 162,0 | 60,3 | 39,7 | - | - |
| Турция | 33,2 | 34,1 | 65,9 | - | - |
| Другие | 4,5 | 44,1 | 55,9 | - | - |
| Другие европейские страны | 37,7 | 35,3 | 64,7 | - | - |
| Россия | 70,8 | 66,9 | 30,8 | 2,4 | - |
| Украина | 24,2 | 71,7 | 6,8 | 21,4 | - |
| Другие страны СНГ | 7,3 | 56,9 | 43,1 | - | - |
| СНГ | 102,4 | 67,3 | 26,0 | 6,7 | - |
| Канада | 12,6 | 55,4 | 44,6 | - | - |
| Мексика | 18,8 | 26,2 | 73,8 | - | - |
| США | 78,5 | 33,0 | 67,0 | - | - |
| НАФТА | 109,9 | 34,4 | 65,6 | - | - |
| Аргентина | 4,1 | 56,7 | 43,3 | - | - |
| Бразилия | 31,3 | 77,3 | 21,1 | - | 1,6 |
| Чили | 1,2 | 70,7 | 29,3 | - | - |
| Венесуэла | 0,6 | - | 100,0 | - | - |
| Другие | 3,8 | 7,3 | 92,7 | - | - |
| Центральная и Южная Америка | 40,9 | 67,5 | 31,3 | - | 1,2 |
| Египет * | 5,0 | 11,4 | 88,6 | - | - |
| ЮАР | 6,1 | 62,2 | 37,8 | - | - |

Продолжение таблицы 1

| Страна | Производство стали, млн. т. | Конвертерная сталь, % | Электросталь, % | Мартеновская сталь, % | Другое, % |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| Другие африканские страны | 1,9 | 33,8 | 65,9 | - | 0,3 |
| Африка | 13,1 | 38,5 | 61,4 | - | 0,0 |
| Иран | 17,9 | 12,2 | 87,8 | - | - |
| Саудовская Аравия | 5,5 | - | 100,0 | - | - |
| Другие ближневосточные страны * | 8,1 | - | 100,0 | - | - |
| Ближний Восток | 31,5 | 6,9 | 93,1 | - | - |
| КНР * | 808,4 | 94,8 | 5,2 | - | - |
| Индия | 95,6 | 42,7 | 57,3 | - | - |
| Япония | 104,8 | 77,8 | 22,2 | - | - |
| Южная Корея | 68,6 | 69,3 | 30,7 | - | - |
| Тайвань | 21,8 | 64,2 | 35,8 | - | - |
| Другие азиатские страны | 25,9 | 6,9 | 93,1 | - | - |
| Азия | 1 125,0 | 84,6 | 15,4 | - | - |
| Австралия | 5,3 | 75,7 | 24,3 | - | - |
| Новая Зеландия | 0,6 | 100,0 | - | - | - |
| Итого | 1 628,3 | 74,3 | 25,3 | 0,4 | 0,0 |

* - оценка

С целью устранения недостатков верхней кислородной продувки в конце 60-х годов прошлого столетия получили распространение новые конвертерные процессы с донным подводом топливно-кислородного дутья. Однако прогнозы о значительных преимуществах донной кислородно-топливной продувки не оправдались. Вместе с тем ряд положительных результатов (возможность интенсификации продувки, повышенный выход годного, экономия ферросплавов и т.д.) послужили стимулом к разработке комбинированных конвертерных процессов.

В 80-х годах прошлого столетия был разработан конвертерный процесс с верхней продувкой кислородом и донной продувкой инертным газом. По такой технологии работало до 80 % конвертеров мира [2]. Донная продувка интенсифицировала перемешивание ванны, повышало выход железа и марганца, облегчала контроль шлакообразования и процесс дефосфорации. Однако появление процесса ошлакования ванны для повышения стойкости футеровки конвертеров привело к тому, что производители стали жертвовать донной продувкой в пользу процесса ошлакования футеровки. Тем не менее, неотъемлемыми составными элементами современной технологии являются: сочетание верхней кислородной продувки с донной продувкой инертными газами; использование специальных конструкций дутьевых устройств; отсечка шлака для уменьшения его попадания из конвертера в ковш во время выпуска; автоматизация процесса для обеспечения устойчивых результатов; система предотвращения выбросов для увеличения выхода годного, совершенствования управления технологическим процессом и обеспечения безопасности персонала; использование специальных моделей, позволяющих прогнозировать различные сценарии работы конвертерного цеха с позиции минимизации затрат ресурсов и времени на производство и выполнение технологических операций [3].

Траектория развития современного конвертерного производства направлена на достижение традиционных целей: повышение качества продукции, снижение издержек производства, увеличение производительности и улучшение охраны окружающей среды. В мире постоянно растет использование стального лома, достигнув в 2016 г. уровня 590 млн. т. Но отношение массы жидкого чугуна к массе выплавленной стали увеличивается и достигло 74 %. При этом в кризисный 2009 г. оно составляло 82 %. Применительно к конвертерному производству стали целесообразно обеспечить гибкость процесса для использования металлошлака в широких соотношениях разных охладителей плавки и со сниженной долей чугуна. Замена чугуна ломом, как известно, резко снижает энергоемкость стали и трудозатраты на ее производство.

В соответствии с развивающимися положениями в работе конвертерных цехов России в 2017 г.

впервые за последние несколько лет наметилась тенденция снижения расхода чугуна (таблица 2). Наибольшее снижение достигнуто на ЕВРАЗ НТМК (-10,4 кг/т).

На рисунке приведены результаты расчетов энергоемкости конвертерной стали [4]. Несмотря на снижение расхода чугуна энергоемкость конвертерной стали на ЕВРАЗ ЗСМК увеличилась на 10 кг у.т/т в результате роста энергоемкости передельного чугуна.

Таблица 2 – Изменение удельного расхода чугуна при производстве конвертерной стали, кг/т [4]

| Предприятие | 1 кв. 2016 г. | 1 кв. 2017 г. | Изменение |
|--------------------|---------------|---------------|-----------|
| В целом по отрасли | 924,6 | 923,1 | -1,5 |
| ЕВРАЗ ЗСМК | 831,9 | 829,4 | -2,5 |
| ММК | 894,8 | 886,1 | -8,7 |
| ЧерМК | 906,5 | 899,7 | -6,8 |
| НЛМК | 942,2 | 938,9 | -3,3 |
| ЧелМК | 969,7 | 1003,9 | +34,2 |
| ЕВРАЗ НТМК | 1085,8 | 1075,4 | -10,4 |

В целом по отрасли энергоемкость 1 т. конвертерной стали по итогам работы в 1 кв. 2017 г. составляет 626,7 кг у.т/т, что на 7,1 кг у.т/т ниже, чем за аналогичный период 2016 г. (рисунок 1).

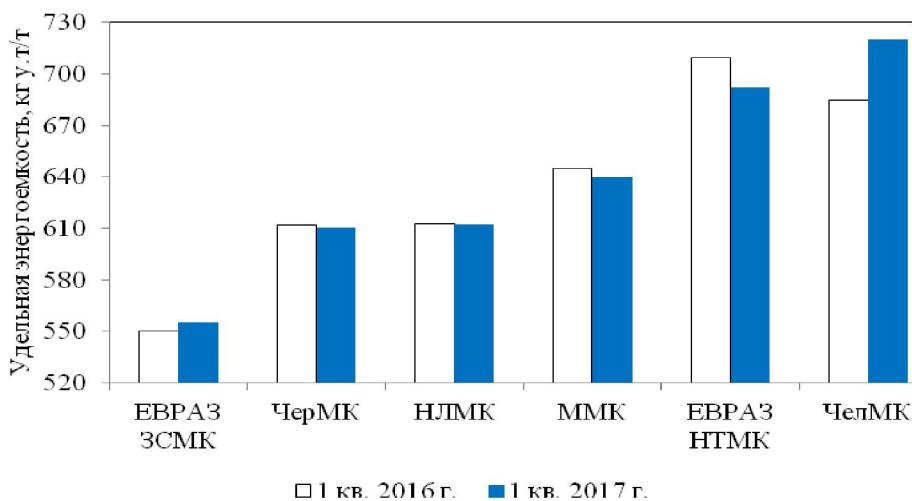


Рисунок 1 – Удельная энергоемкость конвертерной стали

Повышение в последнее время требований к качеству продукции на рынке металла предопределяет соответствующие требования к качеству стального лома по содержанию примесей цветных металлов, а также физическим свойствам. Однако количество оборотного лома снижается вследствие совершенствования технологии непрерывной разливки стали, а в амортизационном ломе из-за многократного переплава повышенено содержание отдельных элементов, способствующих снижению эксплуатационных свойств металлопродукции. При этом эффективность технологий по подготовке стального лома к конвертерной плавке в отечественной металлургии не всегда решает эти проблемы

В сложившихся условиях представляется целесообразным совершенствование традиционного состава и технологического режима формирования твердой металлошлихты с использованием, в частности, железосодержащих продуктов переработки отвальных конвертерных шлаков, технология переработки которых до сих пор остается технологически примитивной и экологически несовершенной [5].

Несмотря на современные разработки, важнейшей составляющей металлошлихты при выплавке стали остается чугун. В настоящее время конвертерный процесс рассматривается как комплексный, включающий подготовку чугуна, собственно процесс плавки и внепечное рафинирование стали, в том числе обработку ее в промежуточном ковше МНЛЗ.

Широкое распространение получила внедоменная десульфурация чугуна, а также его десиликонизация и дефосфорация. Снижение содержания кремния в чугуне до 0,30 – 0,35 % обеспечивает не только возможность последующей внепечной дефосфорации и эффективной малошлаковой технологии в конвертере, но позволяет получить существенную экономию и при выплавке чугуна. В целом это становится одним из главных направлений совершенствования технологий в комплексе доменная печь – кислородный конвертер.

Для получения низких концентраций растворенных газов и неметаллических включений в

конвертерной стали ее обрабатывают после выпуска из агрегата в разного типа вакууматорах. В мире вакуумируют в среднем 27 % производимой стали, в Японии – до 50 %.

Установки ковш-печь с вакуумированием наиболее многопрофильны, в них можно проводить практически всю обработку стали, особенно если предусмотрена возможность скачивания шлака из ковша. Совершенствование установок направлено главным образом на создание условий, способствующих ускорению и углублению рафинирования металла. Это в первую очередь мероприятия способствующие интенсификации перемешивания металла в ковше. Они осуществляются за счет совершенствования оборудования для ввода инертного газа, расположения продувочных устройств, периода и интенсивности ввода газа; для агрегатов порционного и циркуляционного вакуумирования – совершенствованием конструкции камеры и патрубков.

Для повышения технологичности разливки конвертерной стали на МНЛЗ рекомендуется уменьшение сечения заготовок с повышением скорости разливки с целую сохранения производительности; для всех видов заготовок целесообразно применение криволинейных машин; использование промежуточных ковшей повышенной вместительности и высоты; кристаллизаторов с переменной по высоте конусностью, с более совершенным режимом качания; электромагнитное торможение потоков стали в кристаллизаторе и мягкое обжатие незатвердевшего слитка в зоне вторичного охлаждения; термическое воздействие на заготовку в зоне окончания затвердевания; использование технологий «горячего посада» заготовок в нагревательные устройства перед прокаткой [3].

Большое внимание в мировой металлургии уделяется вопросам снижения расходов на огнеупорные материалы при производстве конвертерной стали. Требования к стойкости футеровки конвертеров предопределили следующую мировую тенденцию в применении огнеупоров: от использования смолосвязанных доломитовых, затем периклазодоломитовых и периклазовых, обожженных периклазовых, пропитанных смолой в вакууме, до огнеупоров периклазоуглеродистого состава с добавками антиоксидантов, которые широко применяются в настоящее время.

Благодаря использованию периклазоуглеродистых огнеупоров, в сочетании с проведением «горячих» ремонтов, что является важной составляющей службы эксплуатации футеровки конвертеров, достигнуты рекордные показатели – 20 тыс. (США), 30 тыс. (КНР), 7 тыс. (Россия) плавок [3]. Определенную роль в повышении стойкости футеровки также играют лазерные системы измерения профиля и стенок местного износа огнеупоров, обеспечивающие автоматическое сканирование и вывод данных об их состоянии для оперативного применения корректирующих мероприятий.

Характерно, что в российской металлургии при выплавке стали в конвертерах широко используются высокомагниевые флюсы; это позволяет повысить содержание MgO в шлаке, снизить его агрессивное воздействие на футеровку и получить при раздувке подготовленного шлака огнеупорное защитное покрытие на футеровке [6]. «Горячие» ремонты также включают подварки, полу-сухое и/или факельное торкретирование с подачей торкрет-масс на основе обожженных магнезита или доломита с использованием установок горизонтального и вертикального типов.

Для повышения эффективности «горячих» ремонтов футеровки конвертеров рекомендуется применять специальные конструкции газоохлаждаемых гарнисажных фурм, обеспечивающих совместное (раздельное) нанесение шлакового гарнисажа по средству раздувки конечного шлака азотными струями и факельное торкретирование футеровки дешевыми торкрет-массами на основе необожженных магниевых шлакообразующих материалов [7].

В соответствии с развивающимися положениями учеными научной школы университета совместно со специалистами ЕВРАЗ ЗСМК разработаны различные варианты процессов выплавки стали в кислородных конвертерах с использованием природного сырья и техногенных отходов, которые обеспечивают ресурсосбережение и рациональное использование технологической среды в регионе. Изобретения нашли применение на предприятии, что позволило повысить эффективность конвертерного производства и качество металлопродукции.

В настоящее время продолжаются научные исследования процесса выплавки стали в кислородных конвертерах с использованием в твердой металлошлихте железосодержащих продуктов переработки конвертерных шлаков; по разработке новых огнеупорных покрытий и материалов, способов горячих ремонтов футеровки конвертеров и устройств для их осуществления, обеспечивающих снижение расходов на огнеупоры.

Библиографический список

1. World Steel Association [Электронный ресурс] / <http://www.worldsteel.org>.
2. Еланский, Д.Г. Обзор докладов на пленарном заседании XIV Международного конгресса сталеплавильщиков / Д.Г. Еланский, Г.Н. Еланский // Сталь. – 2016. – №12. – С. 21 – 29.
3. Величко, А.Г. Совершенствование конвертерного производства стали в мире и Украине /

А.Г. Величко, Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов // Черная металлургия: Бюл. ОАО «Черметинформация» – 2011. – № 4. – С. 50 – 55.

4. Иванова, И.М. Использование материальных и энергетических ресурсов за I кв. 2017 г. // Черная металлургия: Бюл. ОАО «Черметинформация» – 2017. – № 7. – С. 10 – 15.

5. Кузнецов С.Н. Современные технологии выплавки стали с использованием железосодержащих продуктов переработки конвертерных шлаков/ С.Н. Кузнецов, Е.В. Протопопов, М.В. Темлянцев [и др.] // Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. – 2017.– Выпуск 20.– С. 95 – 101.

6. Возчиков, А.П. Применение высокомагнезиального флюса ФЛЮМАГ в сталеплавильном производстве / А.П. Возчиков, К.Н. Демидов, Т.В. Борисова [и др.]// Сталь.– 2017. – № 4.– С. 16 – 20.

7. Протопопов, Е.В. Тепловая работа торкрет-гарнисажной формы для горячих ремонтов футеровки кислородных-конвертеров / Е.В. Протопопов, А.Г. Черняевич, С.В. Фейлер, А.Н. Калиногорский // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 4. С. 21 – 25.

УДК 621.746.5:669.18:519.6

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ¹

Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Фейлер С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, chisl.vv@yandex.ru*

Аннотация: Проведены исследования гидродинамических процессов в промежуточном ковше машины непрерывного литья заготовок методами физического низкотемпературного моделирования. Данна качественная и количественная оценка эффективности использования различных гидродинамических элементов с использованием метода исследования распределения времени пребывания жидкости в агрегате.

Ключевые слова: физическое моделирование, промежуточный ковш, гидродинамика, непрерывная разливка стали, качество металла.

PHYSICAL MODELING OF METAL MELT MOVEMENT PROCESSES IN CONTINUOUS CASTING

Protopopov E.V., Chislavlev V.V., Feyler S.V.

*Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, chisl.vv@yandex.ru*

Abstract: Investigations of hydrodynamic processes in the tundish of the continuous casting by methods of physical low-temperature modeling have been carried out. A qualitative and quantitative assessment of the efficiency of the use of various hydrodynamic elements is made using the method of the residence time distribution.

Key words: physical modeling, tundish, hydrodynamics, continuous casting of steel, quality of metal.

Одной из основных функций промежуточного ковша современной машины непрерывного литья заготовок является рафинирование жидкого металла от докристаллизационных неметаллических включений. Успешное решение этой важнейшей задачи в значительной степени зависит от особенностей движения и перемешивания металлического расплава в объеме промежуточного ковша. Управление процессами перемешивания расплава возможно осуществлять путем установки специальных огнеупорных элементов (порогов, струегасителей, перегородок и т.д.), конфигурация и место размещения которых во многом определяет распределение потоков в промежуточном ковше. Разработка конфигурации огнеупорных элементов промежуточного ковша, обеспечивающих благоприятные гидродинамические условия для удаления неметаллических включений основывается, преимуще-

¹ Работа выполнена в СибГИУ по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МК-1191.2017.8.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----------|
| СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ..... | 4 |
| КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ: СОСТОЯНИЕ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ 4 | |
| Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Фейлер С.В., Ганзер Л.А., Калиногорский А.Н. | |
| ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ..... | 9 |
| Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Фейлер С.В. | |
| ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ МАРГАНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО | 14 |
| Рожихина И.Д., Нохрина О.И. | |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧУГУНА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ШИХТЕ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ | 18 |
| Уманский А.А., Думова Л.В. | |
| СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ СЫРЬЯ (АПС)..... | 23 |
| Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Кузаков А.А. Пьянкин А.П., Тимкина Е.В., Пинаев А.А. | |
| О ГРАФИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ | 29 |
| Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. | |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СИСТЕМЕ V ₂ O ₅ – C - Si | 35 |
| Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А. | |
| АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ | 39 |
| Уманский А.А., Думова Л.В. | |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ | 44 |
| Уманский А.А., Козырев Н.А., Бойков Д.В., Думова Л.В. | |
| ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ | 48 |
| Дмитриенко В.И., Протопопов Е.В., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н. | |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ | 51 |
| Синельников В.О., Калиш Д., Шуцки М. | |
| ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА УКП ОСНОВНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ – ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОВШЕВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ | 56 |
| Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Сычев А.В., Сельменских Н.И., Уполовникова А.Г. | |
| НЕРАВНОВЕСНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА В СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ АГРЕГАТЕ | 61 |
| Цымбал В.П., Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Оленников А.А. | |
| ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОТЫ ВАННЫ РУДОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ | 67 |
| Кравцов К.И. | |
| ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛЮМИНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «АЛЮМИНЩИК»..... | 71 |
| Мартусевич Е.А., Буйницев В.Н. | |
| ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЯ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ | 75 |
| Рыбенко И.А. | |
| РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ..... | 82 |
| Гусев А.А., Царуш К. А., Лишин К.В. | |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР И СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ | 85 |
| Сеченов П.А., Цымбал В.П. | |

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
*«Металлургия – 2017»***

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор В.Е. Хомичева

Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 23.10.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ