

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В. Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

***Труды
XXII Международной научно-практической конференции***

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2021**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоёмким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал-Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «MATEC Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

новые направления переработки бедного отечественного хроморудного сырья / Электроталлургия. - 2008. - № 5. - С. 18-21.

7. Zhuchkov V.I., Zayakin O.V., Leont'ev L.I., Sychev A.V., Kel' I.N. Physicochemical Characteristics, Production and Application of Boron-bearing Complex Ferroalloys / Steel in Translation. - 2017. - Vol. 47. - No. 5. - P. 291–295.

8. Паримончик И.Б., Казачков И.П., Резчик В.Г. Моделирование процесса растворения ферросплавов в сталеразливочном ковше. Металлургия и коксохимия. Киев: Техника. 1972. №31. С.62-65.

9. Agryropoulos S.A. Dissolution characteristics of ferroalloys in liquid steel / Iron and Steelmaker. 1984. No.11. P.48-57.

10. Agryropoulos S.A., Guthrie R.I.L. The influence of high exothermic heats of dissolution on the solution of solid alloy additions into molten bath of steel / Heat and Mass Transfer in Metallurgical System. Dubrovnik. 1981. P.20-28.

УДК 669.11

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ

Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.

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

***Аннотация.** В настоящей работе рассмотрены методы оценки эффективности перемешивания расплава. Получены результаты влияния расхода нейтрального газа на изменение мощности перемешивания. Представлена зависимость коэффициентов эффективной диффузии от расхода нейтрального газа.*

***Ключевые слова:** сталеразливочный ковш, продувка, расплав, нейтральный газ, эффективность перемешивания.*

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF MIXING THE MELT DURING PURGING WITH NEUTRAL GAS IN ORDER TO IMPROVE THE QUALITY OF STEEL

Protopopov E.V., Temlyantsev M.V., Zapolskaya E.M., Polyakov O.A.

*Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, e-mail: Protopopov@sibsiu.ru*

***Annotation.** In this paper, methods for evaluating the efficiency of mixing the melt are considered. The results of the influence of the neutral gas flow rate on the change in the mixing power are obtained. The dependence of the effective diffusion coefficients on the neutral gas flow rate is presented.*

***Keywords:** steel filling ladle, purge, melt, neutral gas, mixing efficiency.*

В соответствии с современными представлениями эффективное обеспечение качества выплавляемого металла целесообразно проводить методами внедоменной обработки чугуна до сталеплавильной плавки или в процессе внепечной обработки при подготовке металла к непрерывной разливке стали.

При этом важнейшим элементом большинства способов ковшевой металлургии является продувка нейтральным газом, которая при низких затратах, позволяет успешно решать такие технологические задачи, как снижение неоднородности по температуре и химическому составу, удаление неметаллических включений, а также частичная дегазации расплава.

В условиях отсутствия перемешивания металлической ванны сверхзвуковыми кислородными струями и всплывающими пузырями монооксида углерода или обработке металла нейтральным газом в ковше с определенными допущениями можно предположить, что перемешивание расплава осуществляется только (или в основном) за счет продувки нейтральным газом, а определяющие для оценки перемешивания подходы подчиняются основным законам аэрогидродинамики.

Существуют различные методы оценки эффективности перемешивания расплава [1, 2], при этом интенсивность перемешивания при этом определяется в основном характеристиками режима подачи нейтрального газа и соответствующими скоростями возникающих циркуляционных потоков в ванне. Обычно в качестве характеристики используется так называемое время полного перемешивания ($\tau_{\text{п}}$) или время усреднения химического состава металла. Другим подходом в оценке перемешивания является использование в качестве характеристики мощность перемешивания ванны (ξ). Причем, исходя из различных теоретических предпосылок и условий эксперимента, определение в различных работах соотношения между указанными величинами в уравнении $\tau_{\text{п}} \approx A\xi^{-n}$ постоянно уточняется и справедливо для тех массивов экспериментальных данных, на основании которых они получены. Показатель степени n по многочисленным данным колеблется от 0,23 до 0,89, а значения коэффициента A изменяется в зависимости от характеристик моделирующих сред геометрии ванны и колеблется в еще более широких пределах (от 50 до 800). Наиболее точной характеристикой интенсивности перемешивания ванны в соответствии с классическими подходами гидродинамики жидкости [3–5] является коэффициент эффективной диффузии (D_e), объединяющий все основные виды переноса (вынужденная и свободная конвекция, молекулярная диффузия).

При формировании газовых струй при выходе из погруженных в жидкость сопел различают пузырьковый, переходный и струйный режимы, когда газовые объемы (пузыри) образуются непосредственно на срезе сопла или в конце некоторого струйного участка. Режим взаимодействия газовой струи с жидкостью и размеры образующихся пузырей слабо зависят от направления подвода дутья [5]. Известно, что выходящая струя нейтрального газа встречает сопротивление среды (металла) и деформируется. Поскольку, различные переходные режимы взаимодействия газовых струй с металлом в реальных условиях сложно фиксируются, возможно использование следующей классификаций режимов: режим барботирования, характеризующийся периодическим растеканием газовых пузырьков по площади днища ковша агрегата с последующим их всплыванием; режим струйного истечения при формировании непрерывной газовой струи (на некотором участке проникающем в объем металла). Реализация того или иного режима при этом всегда связано со скоростью струи на срезе сопла и расходом нейтрального газа.

По многочисленным данным отмечено, что пузырьковый режим истечения может сохраняться до скоростей порядка 20 – 30 м/с. При больших скоростях истечения (примерно 100 м/с для газожидкостных потоков) сохраняются основные закономерности струйных течений.

С использованием положений волновой теории процессов в жидком металле, разработанной профессором В.Б. Охотским, по известным выражениям предварительно определяли параметры всплывающих пузырей. В соответствии с теорией всплывающие в жидкости пузыри генерируют вихри аналогичного размера, а в объеме расплава возникает развитая турбулентность, обусловленная, с одной стороны, направленными циркуляционными потоками и с другой – турбулентными пульсациями в этих потоках, что обеспечивает случайный статистический характер переноса. Согласно выполненным расчетам, при реализации струйного режима истечения газовых струй диаметр образующихся пузырей в зависимости от скорости всплывания составляет 1,2 – 1,5 см. Использование пористых вставок в ковше, то есть при пузырьковом режиме истечения диаметр образующихся пузырей не превышает 0,5 – 0,8 см и не зависит от расхода нейтрального газа, являясь результатом взаимодействия гравитационных и капиллярных волн. Скорость всплывания таких пузырей находится в пределах 150 – 160 и 10 – 15 см/с для обоих режимов соответственно.

В соответствии с выдвинутой Прандтлем «теорией пути смешения» [3, 6], возможно

определение коэффициента микропереноса в жидкости по аналогии с коэффициентом переноса в молекулярно-кинетической теории газов:

$$De = \bar{u} \bar{\lambda} / 3 \text{ м}^2/\text{с},$$

где $\bar{u}$ – осредненная скорость газовых молекул;

$\bar{\lambda}$ – средняя длина их свободного пробега.

Для рассматриваемого случая переноса в расплаве имеет место следующее соотношение:

$$De = \omega_p l,$$

где ω_p – скорость циркуляции расплава;

l – масштаб движения или линейный масштаб турбулентных пульсаций.

В качестве линейного масштаба турбулентных пульсаций (или длины пути перемешивания) использовали линейный размер элементарной площадки, приходящийся на один центр газовыделения:

$$l = \sqrt{S/m},$$

где S – площадь поверхности ванны в спокойном состоянии;

m – количество донных фурм или центров газовыделения.

С учетом того, что расплав циркулирует под действием импульсов газовых струй, можно записать, что

$$De = \frac{\sum_{i=1}^m J_i l_i}{Q},$$

где J_i – секундный импульс газовых струй, действующих на расплав;

Q – масса металла.

В зависимости от режима истечения перемешивающего газа со стороны одиночного всплывающего пузыря действует импульс, равный произведению подъемной силы P на время ее действия τ , где

$$P = Vg(\rho_m - \rho_r) \approx Vg\rho_m,$$

так как $\rho_m \gg \rho_r$; здесь V – объем одиночного пузыря; g – гравитационное ускорение;

ρ_m и ρ_r – плотность металла и газа;

$\tau = h_B / \omega_{вспл}$;

h_B – высота ванны металла;

$\omega_{вспл}$ – скорость всплывания пузыря.

Для получения суммарного импульса всех всплывающих пузырей, образующихся на поверхности пористой пробки или в конце некоторого струйного участка донных газовых струй, можно вместо величины V подставить объемный расход перемешивающего газа (V_τ):

$$\sum_{i=1}^m J_i = \frac{\rho_m g V_\tau h_B}{\omega_{вспл}},$$

где $V_\tau = G/\rho_r$;

$G = f_\tau w_{вспл} \rho_r$ – массовый расход газа;

ρ_r – плотность нейтрального газа;

f_τ – площадь выходного сечения сопла;

$w_{вспл}$ – скорость всплывания газовых объемов.

Тогда в соответствии с принятой моделью величину De можно рассчитать по следующему уравнению:

$$De = \frac{\rho_m g V_\tau h_B \sqrt{S/m}}{w_{вспл}}.$$

Для рассматриваемых условий эффективный коэффициент диффузии составляет 0,95

– 0,35 м²/с и 0,05 – 0,15 м²/с при реализации струйного режима истечения и режима барботирования соответственно.

Оценку мощности перемешивания (N_n) для принятой модели определяли с использованием законов сохранения энергии и количества движения:

$$N_n = \sum_{m=10}^m J_i l_i,$$

где J_i – секундный импульс газовых струй, действующих на расплав;

l_i – «масштаб движения», равный 1/3 размера всплывающих пузырей.

Полученные результаты расчетов представлены на рисунке 1 в виде зависимости секундной работы (мощности) перемешивания ванны от расхода нейтрального газа, подаваемого через донные фурмы. С увеличением расхода нейтрального газа величина работы перемешивания как в струйном, так и в пузырьковом режиме истечения газовых струй в расплав возрастает, причем в случае реализации струйного режима истечения мощность перемешивания увеличивается в значительно большей степени, нежели в режиме барботирования.

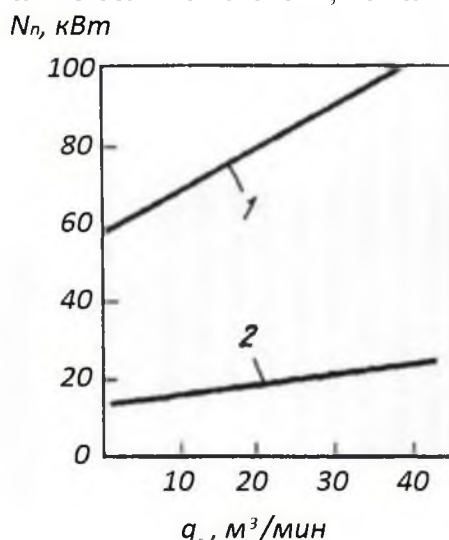


Рисунок 1 - Влияние расхода нейтрального газа на изменение мощности перемешивания 160-т ковша: 1 и 2 – струйный режим истечения и барботаж

Как показывают расчеты, уменьшение диаметра пузырьков при незначительной скорости их всплывания увеличивает продолжительность их пребывания в расплаве, общую их поверхность на рассматриваемый объем газа, что способствует достижению стабильного дегазирующего эффекта и приближению системы металл – шлак к равновесию.

В общем случае перенос вещества в результате диффузии может быть разложен на три составляющие: вертикальная, горизонтальная и радиальная. Для определения значения D_e в направлениях переноса использовали полученные критериальные зависимости, характеризующие перемешивание расплава для условий эксперимента. Для всех случаев переноса величина D_e пропорциональна кубическому корню из мощности перемешивания и отличается коэффициентом пропорциональности, который принимает значения 32, 70 и 140 при вертикальном, горизонтальном и радиальном переносах соответственно [6].

Результаты расчетов D_e в зависимости от режима продувки и расхода перемешиваемого газа приведены на рис. 2, из которого видно, что эффективный коэффициент диффузии, как и мощность перемешивания, зависят от расхода нейтрального газа и увеличиваются с ростом интенсивности его подачи. Вместе с тем для всех трех зависимостей, представленных на рис. 2, характерно значительное различие в коэффициенте эффективной диффузии для случаев продувки ванны в струйном и пузырьковом режимах. При выбранных расходах нейтрального газа эффективный коэффициент диффузии для вертикального переноса имеет наибольшее абсолютное значение, существенно меньшее – для горизонтального переноса и наименьшее – для радиального.

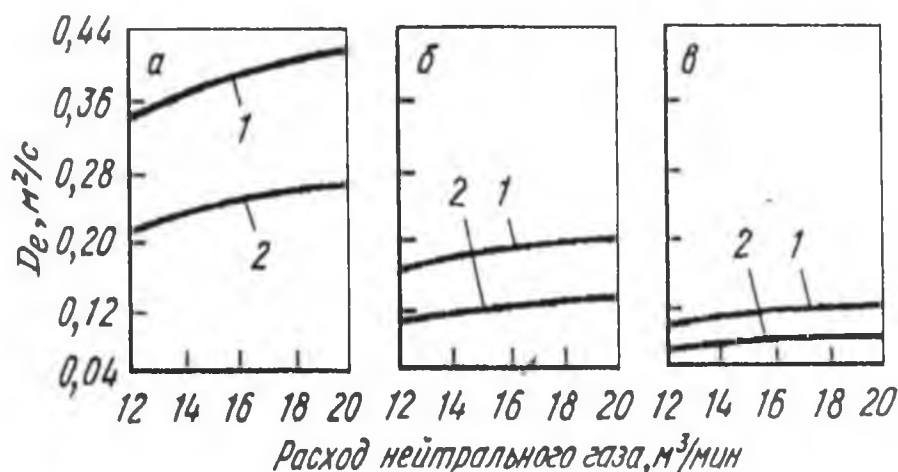


Рисунок 2 - Зависимость коэффициентов эффективной диффузии от расхода нейтрального газа при перемешивании в 160-т ковше: а, б, и в – вертикальный, горизонтальный и радиальный переносы; 1 и 2 – струйный и пузырьковый режимы истечения

С использованием предложенной модели для условий продувки 160-т ванны определены параметры всплывающих пузырей и значения составляющих эффективного коэффициента диффузии при различных режимах донной продувки.

Библиографический список

1. Kai T // J. Iron and Steel Inst. Jap. – 1981. – V. 68, № 4. – P. 214.
2. Mori K., Sano M. // J. Iron and Steel Inst. Jap. – 1983. – V. 69, № 6. – P. 672-695.
3. Явойский В. И., Дорофеев Г. А., Повх И. Л. Теории продувки сталеплавильной ванны. – М.: Металлургия, 1974. – 496 с
4. Охотский В. Б. // Физико-химическая механика сталеплавильных процессов. – Москва: Металлургия, 1993. – 151 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.
6. Яковлев Ю. Н., Опришко Н. В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1990. – №. 1. – С. 22-24.

УДК 669.782; 669.168

ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЯ И ФЕРРОСИЛИЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

Ёлкин К.С.¹, Рожихина И.Д.², Ёлкин Д.К.³

1-Восточно-Сибирский научный центр МАНЭБ,
г. Иркутск, Россия, k.yolkin@mail.ru

2-Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, rojihina_id@mail.ru

3- ООО «ОК РУСАЛ, Инженерно-технологический центр»,
г. Красноярск, Россия, Dmitriy.Elkin@rusal.com

Аннотация. Анализ восстановительной плавки кремния и ферросилиция показал образование вторичного стабильного карбида кремния. Показана возможность загрузки свежей шихты в нижние горизонты ванны печи, что исключает образование стабильного карбида кремния. Установлены начальные температуры взаимодействия кремнезёма и карбида кремния, полученного с применением различных углеродистых восстановителей. Установлена закономерность образования вторичного карбида кремния из газовой фазы.

СОДЕРЖАНИЕ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ТОЛСТОГУЗОВА <i>Рожихина И.Д.</i>	4
СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	9
ЛЕГИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А., Дмитриенко В.И.</i>	9
ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Ходосов И.Е.</i>	18
АНАЛИЗ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ <i>Павлов А.В., Спирин Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i>	26
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ	32
<i>Берсенов И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю., Бардавелидзе Г.Г., Спирин Н.А.</i>	32
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖИДКОЙ СТАЛИ <i>Жучков В.И., Заякин О.В., Кель И.Н.</i>	37
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	42
ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЯ И ФЕРРОСИЛИЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ <i>Ёлкин К.С., Рожихина И.Д., Ёлкин Д.К.</i>	46
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ <i>Громов В.Е., Шлярова Ю.А., Коновалов С.В., Воробьев С.В., Семин А.П.</i>	50
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ <i>Гизатулин Р.А., Лепихов В.С., Шароватых Д.Ю.</i>	54
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В МЕТАЛЛУРГИИ ЦИНКА <i>Козлов П.А.</i>	57
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ БЕДНЫХ КАРБОНАТНЫХ И ОКСИДНЫХ РУД В АГРЕГАТЕ СЭР <i>Рыбенко И.А., Цымбал В.П., Kongoli F.</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАРГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.</i>	73
КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	78
ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Леонтьев А.С., Рыбенко И.А.</i>	82

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ <i>Уманский А.А., Козырев Н.А., Жутков С.В., Николаев В.К., Гизатулин Р.А.</i>	87
ПОВЕДЕНИЕ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н., Ноздрин И.В.</i>	92
РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	95
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	101
РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ <i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Roos К.</i>	107
ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОМ РАСПЛАВЕ <i>Заякин О.В., Ренёв Д.С., Жучков В.И.</i>	112
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА, ВАНАДИЯ И ТИТАНА ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ ТИТАНОМАГНЕТИТА <i>Агамирова А.С.</i>	116
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ПОЛОСТИ 160-ТОННОГО КОНВЕРТЕРА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Солоненко В.В., Темлянецов М.В., Якушевич Н.Ф., Полях О.А.</i>	121
МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕРИЯ МЕЖДУ ШЛАКОМ СИСТЕМЫ CAO-SiO ₂ -CE ₂ O ₃ -15%AL ₂ O ₃ -8%MGO И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫМ МЕТАЛЛОМ <i>Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г.</i>	126
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Лубяной Д.А., Юрьев А.Б., Кузнецов И.С., Маркидонов А.В., Лубяной Д.Д.</i>	131
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ПРЯМЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ МАРГАНЦЕМ <i>Лубяной Д.Д., Юрьев А.Б., Маркидонов А.В., Кузнецов И.С., Лубяной Д.А.</i>	136
РАЗРАБОТКА В PASCALABC.NET ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Хоанг В.В., Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Плакуций А.В.</i>	141
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	147
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <i>Абатурова А.А., Загуляев Д.В., Иванов Ю.Ф., Леонов А.А., Аксенова К.В.</i>	147
О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИНВАРОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-Si-Cu <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	154
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Князев С. В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</i>	159

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ
ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

<i>Князев С.В., Козырев Н.А., Усольцев А.А.</i>	163
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА	
<i>Усольцев А.А., Князев С.В., Куценко А.И., Козырев Н.А., Дмитриенко В.И.</i>	167
ОЦЕНКА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХ3	
<i>Дмитриенко В.И., Князев С. В., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А.</i>	177
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ ХН65ВМТЮ (ЭИ896) МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Комаров Д.В., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Чэнь Д., Панченко И.А.</i>	184
ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЛЬСОВ	
<i>Кузнецов Р.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Кормышев В.Е., Перегудов О.А., Семин А.П.</i>	189
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ И МЕДИ	
<i>Попова М.В., Жибинова И.А., Прудников А.Н.</i>	194
ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ ВЫСОКОЧИСТОГО ЖЕЛЕЗА 008ЖР	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В.</i>	201
МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДОМЕННОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П., Жибинова И.А., Малиух М.А.</i>	208
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА А0 С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОРАБОТКИ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ	
<i>Яшин В.В., Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю., Латушкин И.А.</i>	212
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫКАТЫВАЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОКАТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА	
<i>Уманский А.А., Юрьев А.Б.</i>	216
МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ И СВОЙСТВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i>	225
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЛИТЬЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI ЛЕГИРОВАННОГО МАЛЫМИ ZR, SC ДОБАВКАМИ	
<i>Лапинов М.А., Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю.</i>	232
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МИКРОТВЕРДОСТЬ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 9СRМ0V-N ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Осинцев К.А., Шляров В.В., Чэнь С., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Чаплыгин К.К.</i>	240
ПРОКАТКА ДЛИННОМЕРНОЙ РЕЛЬСЫ С УСКОРЕНИЕМ	
<i>Соловьев В.Н., Белолипецкая Е.С.</i>	248
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ПО ТОЛЩИНЕ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ (ФАЗЫ) ПРИ ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО НИКЕЛЯ НА ДИФФУЗИОННЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ	
<i>Розенштейн Е.О., Бондарева О.С., Коновалов С.В.</i>	255

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	261
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2 <i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i>	266
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ <i>Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.</i>	271
ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА <i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i>	281
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i>	286
СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ <i>Фастыковский А.Р., Осолкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i>	290
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ И СОРТОВЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i>	299
ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i>	304
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	309
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ <i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В., Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i>	316

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2021»

Труды XXII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 20.10.2021 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 23,4 Уч.-изд. л. 25,8 Тираж 300 экз. Заказ № 234

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