

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 наукоемким 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 «МАТЕС 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

- хин, Г.А. Зинягин, Ф.Л. Скуридин [и др.] // Экология и промышленность России. - 2013. - №1. - С.4-7.
2. Piret, N.L. Beurteilungskriterien der Verarbeitung von Reststoffen mit niedrigem Zinkgehalt aus der Eisen und Stahlproduction / N.L. Piret, D. Muller // ERZMETALL. – 1993. – Vol.46 (№ 6). – p. 364-368.
3. Kozlov, P.A. The Waelz Process / P.A. Kozlov. – Moscow: «Ore and Metals». - 2003 - p. 160. – ISBN 5-8216-0050-2.
4. Kozlov, P.A. Research, Development and Implementation of Processing Zinc Oxidized Raw Material for Zinc and Indium Recovery at Chelyabinsk Zinc Plant / P.A. Kozlov, A.M. Panshin, S.A. Yakornov // EMC 2017 (Leipzig, Germany, GDMB, June 25-28). - 2017. - Vol. 4. - p. 1669-1679.
5. Панышин, А.М. Основные направления совершенствования производства цинка на ОАО «Челябинский цинковый завод/ А.М. Панышин, Р.М Шакирзянов, П.А. Избрехт, А.В Затонский // Цветные металлы. - 2015. - №5. – С. 19-21.
6. Якорнов, С.А Разработка технологии грануляции шихты на основе пылей электродуговых печей для пирометаллургической переработки во вращающихся печах/ С.А. Якорнов, А.М. Панышин, П.А. Козлов, Д.И. Ивакин // Metallurg. - 2017. - №7. - С. 25-29.
7. Urkunderuber die Eintragung des Gebrauchsmusters № 202014008166.2 Einsatzgutzum Walzen vonzinkleizinnhaltigen Materialien. Tag der Anmeldung 17.09.2014. Tag der Eintragung 03.11.2014
8. Козлов, П.А. Разработка технологии использования нефтекокса в вельц-процессе / П.А. Козлов, И.И. Ходыко, Е.А. Порошин, Д.А. Ивакин // Цветные металлы. – 2019. - №4. - С. 28-32.
9. Kozlov, P.A. Research and Development of Pyrohydrometallurgical Technology of Ferrous Dust Treatment with Zinc Powder Production / P.A Kozlov, A.M. Panshin, S.A. Yakornov, EMC 2019 (Dusseldorf, Germany, GDMB June 23-26). - 2019.
10. Патрушев, А.В. Выбор условий получения электролитических порошков цинка для металлонаполненных композиций / А.В. Патрушев, Т.Н. Останина., В.М. Рудой [и др.] //Материалы докладов конференции. Химия в Федеральных университетах. –Екатеринбург. - 2013. - С. 124-128.

УДК: 669

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ БЕДНЫХ КАРБОНАТНЫХ И ОКСИДНЫХ РУД В АГРЕГАТЕ СЭР

Рыбенко И.А.¹, Цымбал В.П.¹, Kongoli F.^{2,3,4}

¹ Сибирский государственный индустриальный университет,
¹ Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

² CEO, FLOGEN Technologies Inc. Montreal, QC, Canada, НЗР 2Т1

³ Chairman, FLOGEN STAR OUTREACH, Montreal, QC, Canada, НЗР 2Т1

⁴ CEO, FLOGEN Technologies Inc., Wilmington, DE, 19808, USA

www.flogen.com; www.flogen.org; fkongoli@flogen.org

Аннотация. Рассмотрена экологически замкнутая технология получения марганцевых сплавов в агрегате СЭР из бедных мелкофракционных оксидных руд Селезенского и карбонатных руд Усинского месторождений. Поставлена и решена задача оптимизации и определены оптимальные расходы материалов, обеспечивающие получение продукта заданного состава. Проведен сравнительный анализ технологии в агрегате СЭР и традиционных технологий получения марганцевых сплавов.

Ключевые слова: Агрегат СЭР, технология, предварительное восстановление, решение задачи оптимизации, оптимальные режимы, энергоемкость процесса.

DETERMINATION OF OPTIMAL MODES OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING MANGANESE ALLOYS FROM POOR CARBONATE AND OXIDE ORES IN THE UNIT SIR

Rybenko I.A.¹, Tsymbal V.P.¹, Kongoli F.^{2,3,4}

1Siberian State Industrial University

1Novokuznetsk, Russia, rybenkoi@mail.ru

2CEO, FLOGEN Technologies Inc. Montreal, QC, Canada, H3P 2T1

3Chairman, FLOGEN STAR OUTREACH, Montreal, QC, Canada, H3P 2T1

4CEO, FLOGEN Technologies Inc., Wilmington, DE, 19808, USA

www.flogen.com; www.flogen.org; fkongoli@flogen.org

Annotation. An ecologically closed technology for obtaining manganese alloys in the SIR aggregate from poor fine-grained oxide ores of the Selezenskoye and carbonate ores of the Usinsk deposits is considered. The optimization problem is set and solved, and the optimal material costs are determined to ensure the production of a product of a given composition. A comparative analysis of the technology in the SER unit and traditional technologies for obtaining manganese alloys is carried out.

Keywords: SIR unit, technology, preliminary recovery, solution of the optimization problem, optimal modes, energy intensity of the process.

В настоящее время ферромарганец получают, в основном, в шахтных руднотермических печах. Эти технологии достаточно хорошо отработаны [1 – 3], однако они являются энергозатратными. Получить высокое извлечение марганца из относительно бедных руд достаточно сложно в связи со значительными затратами на их обогащения. Особенно высокзатратной является технология переработки карбонатных руд [4]. В связи с этим предлагается технология прямого получения ферромарганца и марганцевых сплавов из пылевидных и мелкофракционных материалов в агрегате СЭР, направленная, прежде всего, на переработку карбонатных руд и пылевидных окисленных концентратов [5, 6].

Технологическая схема переработки мелкофракционных марганцевых руд представлена на рисунке 1.

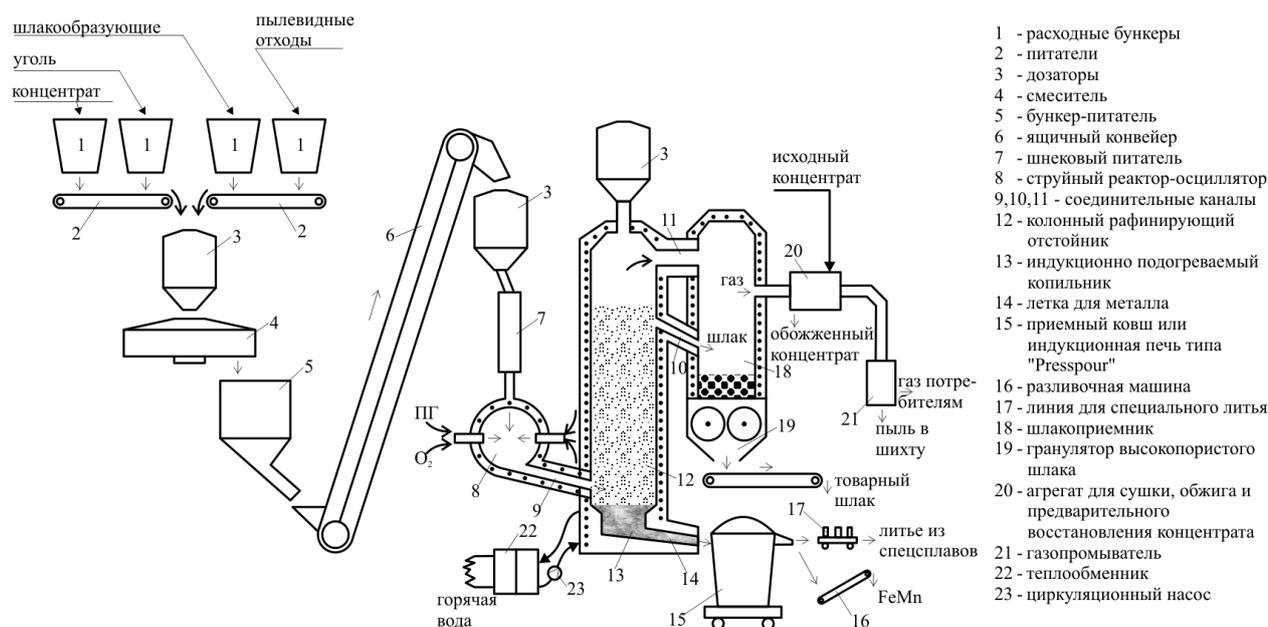


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки мелкофракционных марганцевых концентратов

Шихтовые материалы (марганцевый концентрат, уголь, пылевидные отходы, шлакообразующие) из системы подготовки шихты подаются в расходные бункеры 1, из которых через питатели 2 и дозатор 3 попадают в смеситель 4, а затем, через бункер-питатель 5, ящичный конвейер 6 и шнековый питатель 7 подаются под давлением в реактор-осциллятор агрегата СЭР, где на встречных струях кислорода или воздуха осуществляется диспергация шихты и неполное сжигание топлива до CO . Приготовленная в этом реакторе газовзвесь через газодинамически запираемый канал подается в нижнюю часть колонного реактора 12 под высокий слой газошлаковой эмульсии, где происходит газификация и дожигание более крупных частиц твердого топлива и восстановление оксидов.

К нижней части колонного реактора пристыковывается индукционно подогреваемый копильник 13, в котором накапливаются восстановленные из оксидов железа, марганец и другие металлы, а обедненный, сильно вспененный шлак выталкивается под давлением из верхней части колонного реактора в шлакоприемник 18 с гранулятором 19 и может использоваться в качестве стройматериалов, адсорбентов и т.п.

Реакционный газ, состоящий преимущественно из оксида углерода и являющийся очень эффективным восстановителем, из верхней части шлакоприемника, который также играет роль сепаратора газа и шлака, подается под давлением в агрегат кипящего слоя 20 с марганцевым концентратом для предварительного восстановления до MnO оксидного концентрата или обжига карбонатного. Реализация этапа предварительной обработки марганцевого концентрата восстановительным газом из агрегата СЭР позволяет резко снизить энергоемкость производства ферромарганца.

Восстановленные в колонном реакторе 12 железо и марганец, собираются в индукционно подогреваемом копильнике 13 и через летку 14 выпускаются (непрерывно или периодически) в ковш или индукционную печь 15, где происходит усреднение металла, а в случае реализации технологии получения марганцовистых сталей – доводка металла до заданного состава, из которого можно получать специальное литье, например, износостойкие детали. Задача обеспечения стойкости элементов агрегата решается с помощью автоматизированной системы формирования и поддержания гарнисажа, включающей теплообменники высокого давления 22, средства контроля и управления.

Рассмотренная технология может быть применена для переработки марганцевых концентратов, например Селезеньского месторождения в Кемеровской области, особенно для переработки бедных пылевидных фракций ($14 \div 24\% Mn$), которых в этих концентратах почти половина. Это позволит уменьшить количество хвостов, увеличить степень извлечения марганца и продлить срок эксплуатации месторождения.

Решение задачи оптимизации

Как было отмечено выше, для предварительного восстановления марганца и удаления влаги из руды предлагается использовать восстановительный газ, который является продуктом реализации технологии восстановления марганца в агрегате СЭР, и таким образом замкнуть процесс, то есть создать согласованный поток вещества и энергии, проходящий через основной и подготовительный (второй) агрегаты. Схема материальных и энергетических потоков для предлагаемой технологии приведена на рисунке 1.

Основная задача расчета предлагаемой технологии заключалась в определении такого расхода сырой руды в агрегате кипящего слоя, чтобы получить заданный выход полупродукта (в расчете выход полупродукта принят 1 кг/с) и одновременно обеспечить возможность полного перевода высших оксидов или карбонатов сырой руды в низшие оксиды восстановительным газом, получаемым в основном агрегате. Для решения этой проблемы была поставлена и реализована задача оптимизации, состоящая из двух этапов. На первом этапе решалась задача подбора состава и расхода восстановительного газа, необходимого для полного восстановления высших оксидов марганца или разложения карбонатов, и определялся расход исходной марганцевой руды, обеспечивающий выход заданного количества полупродукта.

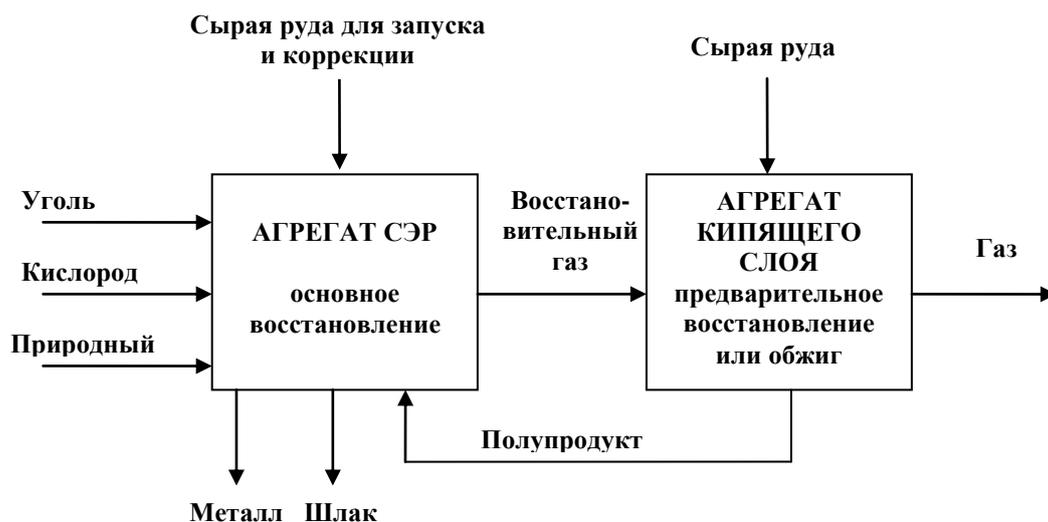


Рисунок 1 – Схема реализации технологии переработки марганцевых руд

При этой производительности осуществлялся расчет процесса в основном агрегате СЭР и определялся состав продуктов. При этом решалась задача оптимизации по выходу и составу газа, который должен обеспечивать процесс восстановления во втором агрегате. Определялись такие расходы угля и кислорода, при которых состав отходящего газа соответствовал необходимому, при выполнении ограничений на условия материального и теплового баланса при заданной температуре и условия реализации восстановительных процессов при заданной степени восстановления железа и марганца. Для рассматриваемой технологии переработки марганцевых руд в агрегате типа СЭР с использованием инструментальной системы был проведен расчет на примере оксидной селезеньской и карбонатной усинской марганцевых руд.

Расчет технологии переработки руды Селезеньского месторождения мелкофракционная (фракции 2,5 ÷ 8 мм) марганцевая руда Селезеньского месторождения имеет химический состав, представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав селезеньской марганцевой руды, %

| MnO | MnO_2 | SiO_2 | CaO | $Fe_{общ}$ | P | S | MgO | BaO | Cu | Zn | Pb | ППП |
|-------|---------|---------|-------|------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| 5,68 | 31,66 | 31,46 | 0,20 | 14,30 | 0,12 | 0,10 | 0,33 | 3,00 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 8,20 |

Поскольку большая часть марганца в руде находится в виде MnO_2 , предлагается перевести его в низший оксид MnO в агрегате кипящего слоя путем использования восстановительного газа, который является продуктом реализации технологии восстановления марганца в основном агрегате СЭР, имеет следующий химический состав: 87,69 % CO ; 0,62 % CO_2 ; 0,75 % N_2 ; 2,01 % H_2 ; 8,93 % H_2O и расход 1,074 кг/с.

Полученный в результате решения задачи оптимизации расход окисленной руды составил 1,26 кг для получения 1 кг полупродукта.

После предварительного восстановления исходной руды в агрегате кипящего слоя получается полупродукт, который подается в первый реактор основного агрегата СЭР, где осуществляется восстановление оксидов марганца и железа. Материальный и тепловой балансы процесса приведены в таблицах 2, 3. В результате реализации технологии получается марганцевый сплав следующего состава: 29,37 % Fe ; 3,00 % C ; 66,17 % Mn ; 1,42 % Si .

Таблица 2 – Материальный баланс технологии переработки селезеньских руд

| Входные потоки | кг/с | % | Выходные потоки | кг/с | % |
|-------------------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
| Полупродукт | 1,000 | 47,94 | Металл | 0,448 | 21,48 |
| Уголь | 0,477 | 22,85 | Шлак | 0,566 | 27,05 |
| Силикомарганец (отходы) | 0,050 | 2,40 | Газ | 1,071 | 51,47 |
| Кислород | 0,508 | 24,42 | | | |
| Природный газ | 0,050 | 2,40 | | | |
| Расход материалов | 2,085 | 100,00 | Выход продуктов | 2,085 | 100,00 |

Таблица 3 – Тепловой баланс технологии переработки селезеньских руд

| Приход | кДж/с | ГДж/т | Расход | кДж/с | ГДж/т |
|----------------------------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|
| 1. Тепло экзотермических реакций | 5540,6 | 12,364 | 1. Тепло металла | 657,9 | 1,468 |
| 2. Тепло индуктора | 1500,0 | 3,347 | 2. Тепло шлака | 620,9 | 1,386 |
| | | | 3. Тепло газа | 2645,4 | 5,904 |
| | | | 4. Тепло энд. реакций | 2516,3 | 5,615 |
| | | | 5. Потери тепла | 600,0 | 1,339 |
| Итого: | 7040,6 | 15,712 | Итого | 7040,6 | 15,712 |

Расчет технологии переработки руды Усинского месторождения

Специфической особенностью карбонатных марганцевых руд является многообразие минеральных форм марганца и гранулометрия от долей миллиметров до нескольких сантиметров. Главные рудные минералы – карбонаты марганца: родохрозит, манганокальцит и марганцовистый кальцит. Химический состав марганцевой руды Усинского месторождения представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав карбонатной марганцевой руды Усинского месторождения, %

| <i>Mn</i> | <i>P</i> | <i>Fe</i> | <i>SiO₂</i> | <i>Al₂O₃</i> | <i>CaO</i> | <i>MgO</i> | <i>S</i> | ППП |
|-----------|----------|-----------|------------------------|------------------------------------|------------|------------|----------|-------|
| 19,33 | 0,18 | 5,96 | 16,33 | 1,67 | 14,84 | 3,17 | 0,06 | 24,98 |

Результаты исследования процесса восстановления карбонатной марганцевой руды углем в инструментальной системе [7, 8] приведены на рисунке 2. Расчет реализован для 1 кг марганцевой руды. Из рисунка следует, что наилучшие условия для восстановления марганца соответствуют расходу угля от 0,40 до 0,45 кг. При этих условиях содержание восстановленного марганца составляет 60 %, его оксида от 8 до 12 %.

Газовая фаза состоит из 90 % *CO*, 6 % испарившегося марганца и 4 % водорода. Восстановление возможно при большом избытке углерода в системе (порядка 10 ÷ 12 %).

Технология получения марганцевого сплава из усинской руды аналогична предыдущей технологии переработки селезеньской руды. Отличие заключается в том, что в усинской руде большинство соединений находится в виде карбонатов. Для их разложения также предлагается использовать восстановительный газ, отходящий из основного агрегата СЭР. Химический состав газа следующий: 89,58 % *CO*; 0,63 % *CO₂*; 0,76 % *N₂*; 2,26 % *H₂*; 6,78 % *H₂O*. Расход газа составил 1,099 кг/с.

После предварительного восстановления получается полупродукт, который затем поступает для окончательной переработки в основной агрегат СЭР. Расход карбонатной руды для получения 1 кг полупродукта составил 1,406 кг/с. Материальный и тепловой балансы для этого процесса приведены в таблицах 5, 6. Конечный продукт имеет следующий состав: 18,33 % *Fe*; 3,00 % *C*; 77,47 % *Mn*; 1,16 % *Si*.

Таблица 5 – Материальный баланс технологии переработки усинских руд

| Входные потоки | кг/с | % | Выходные потоки | кг/с | % |
|----------------------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|
| 1. Полупродукт | 1,000 | 43,37 | 1. Металл | 0,365 | 15,83 |
| 2. Уголь | 0,531 | 23,03 | 2. Шлак | 0,770 | 33,39 |
| 3. Силикомарганец (отходы) | 0,050 | 2,17 | 3. Газ | 1,171 | 50,78 |
| 4. Известь | 0,098 | 4,25 | | | |
| 5. Кислород | 0,577 | 25,02 | | | |
| 6. Природный газ | 0,050 | 2,17 | | | |
| Расход материалов | 2,306 | 100,00 | Выход продуктов | 2,306 | 100,00 |

Таблица 6 – Тепловой баланс технологии переработки усинских руд

| Приход | кДж/с | ГДж/т | Расход | кДж/с | ГДж/т |
|----------------------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| 1. Тепло экзотермических реакций | 5412,4 | 14,823 | 1. Тепло металла | 545,2 | 1,493 |
| 2. Тепло индуктора | 1500,0 | 4,108 | 2. Тепло шлака | 902,1 | 2,471 |
| | | | 3. Тепло газа | 2728,3 | 7,472 |
| | | | 4. Тепло энд.реакций | 2136,7 | 5,852 |
| | | | 5. Потери тепла | 600,0 | 1,643 |
| Итого: | 6912,4 | 18,931 | Итого | 6912,4 | 18,931 |

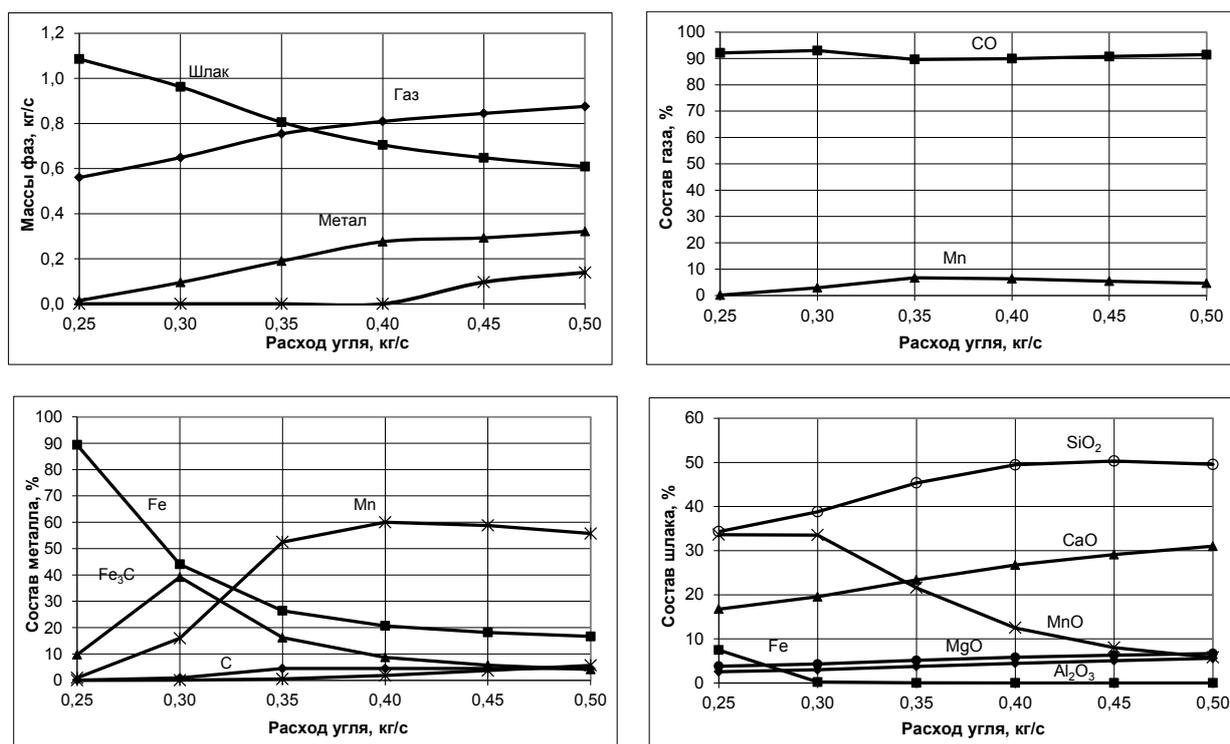


Рисунок 2 – Зависимости параметров процесса восстановления марганца из усинской марганцевой руды от расхода угля

Результаты расчета технологии с предварительным обжигом также показали значительное улучшение технико-экономических показателей по сравнению с безобжиговой технологией: увеличение производительности на 0,12 кг/с, снижение удельных расходов угля и кислорода в 2 раза, уменьшение энергоемкости процесса почти в 2 раза (таблица 7). Сравнительный анализ энергоемкости технологий переработки марганцевых руд в агрегате СЭР с традиционной технологией в руднотермической печи [3] представлен в таблице 8.

Таблица 7 – Сравнительный анализ показателей технологии переработки марганцевых руд Селезенского и Усинского месторождений

| Показатель | Селезенская руда | | Усинская руда | |
|---|--------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|
| | С предв. восстановлением | Без предв. восстановления | С предв. обжигом | Без предв. обжига |
| Удельные расходы материалов, кг/т (м ³ /т) | | | | |
| 1. Марганцевая руда | 2811,12 | 2969,04 | 3850,7 | 4062,2 |
| 2. Уголь | 1063,42 | 2917,22 | 1363,82 | 2488,8 |
| 3. Силикомарганец (отходы) | 111,55 | 148,45 | 136,94 | 203,1 |
| 4. Кислород | 793,8 | 2184,30 | 1035,1 | 2012,6 |
| 5. Природный газ | 151,99 | 202,27 | 186,58 | 276,7 |
| Показатели | | | | |
| Производительность, кг/с | 0,45 | 0,34 | 0,37 | 0,25 |
| Энергоемкость, ГДж/т | 43,1 | 97,6 | 54,6 | 94,1 |
| Содержание марганца, % | 66,17 | 66,00 | 77,47 | 72,15 |

Таблица 8 – Сравнительный анализ разработанной и традиционной технологий переработки марганцевых руд

| Технологии | Энергозатраты, ГДж/т металла | | | |
|---|------------------------------|-------------|--------|-------|
| | Обжиг | Агломерация | Плавка | Итого |
| Традиционная технология | | | | |
| Плавка в руднотермической печи (карбонатный концентрат 28,7 % Mn) | 5,1 | 13,4 | 72,0 | 90,5 |
| Технологии на основе агрегата типа СЭР | | | | |
| Сырая усинская карбонатная руда (19 % Mn) | Энергия отх. газов | – | 54,6 | 54,6 |
| Мелкофракционная обогащенная селезенская руда (24 % Mn) | Энергия отх. газов | – | 43,1 | 43,1 |

Таким образом, предложенная технология переработки марганцевых руд в агрегате типа СЭР с замкнутым циклом позволяет значительно улучшить показатели: снизить удельные расходы материалов, повысить производительность и значительно уменьшить энергоемкость процесса по сравнению с технологией переработки бедных марганцевых руд без предварительного восстановления и обжига. Также из таблицы 8 можно видеть значительное преимущество по энергозатратам предложенной технологии переработки марганцевых руд в агрегате СЭР по сравнению с традиционной технологией выплавки ферромарганца в руднотермической печи.

Библиографический список

1. Смирнов, Л. А. Марганец в своем отечестве [текст] / Л. А. Смирнов, Л.П. Тигунов // Металлы Евразии. – 1999. - № 6. – С. 20 – 23.
2. Емлин, Б. И. Справочник по электротермическим процессам [текст] / Б. И. Емлин., М. И. Гасик. – М. : Металлургия, 1978. – 288 с.
3. Толстогузов, Н. В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов [текст] / Н. В. Толстогузов. – М. : Металлургия, 1992. – 239 с.
4. Дедов, П. И. Обоганительная фабрика карбонатных марганцевых руд [текст] / П. И. Дедов, В. С. Свитов. – Свердловск : Изд. Уралмеханобр, 2004. – 400 с.
5. Цымбал, В. П. Нетрадиционный подход к переработке титано-магнетитовых и железомарганцевых руд / В. П. Цымбал, И. А. Рыбенко, В. В. Павлов // Бюл. Черная метал-

лургия. – 2015. - № 10. – С. 90 – 94.

6. Рыбенко, И.А. Развитие теоретических основ и разработка ресурсосберегающих технологий прямого восстановления металлов с использованием метода и инструментальной системы моделирования и оптимизации [текст] : дис. докт. техн. наук : спец. 05.16.02 : защищена 24.12.18 : утв. 09.07.19 / И.А. Рыбенко. – Новокузнецк, 2018. – 327 с.

7. Рыбенко И.А. Инжиниринг-Металлургия / И.А. Рыбенко, А.А. Оленников // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617445; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2017.

8. Рыбенко, И. А. Решение задач оптимизации металлургических процессов с использованием инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия» / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2018. - № 3. – С. 42 – 47.

УДК 669.184.135

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАНГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.

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

Аннотация. Рассмотрены особенности вспенивания и выбросов шлако-металлической эмульсии из конвертеров в различные периоды продувки.

Ключевые слова: конвертерная ванна, шлако-металлическая эмульсия, выбросы, шлак, корольки.

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF FOAMING A 350-TON CONVERTER BATH DURING PROCESSING LOW-MANGANESE CAST IRON OF JSC "EVRAZ ZSMK"

Protopopov E.V., Poljah O.A., Chernysheva N.A., Kozminykh R.A.

*Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, Protopopov@sibsiu.ru*

Abstract. The features of foaming and emissions of slag-metal emulsion from converters during various periods of purging are considered.

Keywords: converter bath, slag-metal emulsion, emissions, slag, kings.

По ходу практически каждой конвертерной плавки возникает ситуация, когда шлаковая фаза переходит в чрезмерно вспененное состояние, что в дальнейшем приводит к выбросам шлако-металлической эмульсии из агрегата и, соответственно, снижению производительности агрегатов и выхода жидкой стали. Интерес, проявляемый к вспениванию шлаков и эмульгированию металла в шлак, постоянно возрастает, поскольку кинетика этого процесса во многом определяется развитием участвующих в химических реакциях поверхностей раздела в конвертерной ванне. Распространена точка зрения, что идеальным вариантом предупреждения чрезмерного вспенивания и выбросов является оптимальная организация дутьевого режима плавки, под которым, как правило, понимается продувка при переменном положении фурмы и возможном варианте продувки при временном изменении расхода дувяемого в ванну кислорода.

В качестве основных причин выбросов называют повышенное содержание оксидов железа в шлаке и взрывной характер обезуглероживания, одновременное увеличение скоро-

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., Спириин Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i> | 26 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ | 32 |
| <i>Берсенев И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю., Бардавеллидзе Г.Г., Спириин 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 НЕЙТРАЛЬНЫЙ ГАЗОМ С ЦЕЛЮ 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., Жутов 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., Темлянец 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., Малюх 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>Лапшов 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>Розентейн 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>Ахильгов 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., Осколкова 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., Пруссов 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