

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
*«Металлургия – 2022»***

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2022**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды
XXIII Международной научно-практической конференции.
В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

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. АНЫШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И.</i> | 4 |
| СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ | 13 |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ <i>Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А.</i> | 13 |
| ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> | 21 |
| АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ <i>Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> | 29 |
| АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i> | 34 |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ <i>Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е.</i> | 38 |
| ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д.</i> | 45 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni <i>Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В.</i> | 55 |
| ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ <i>Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А.</i> | 62 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В.</i> | 70 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК K_2O , Na_2O , MgO , Al_2O_3 НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ <i>Гизатулин Р.А., Дунышин Н.С., Валув Д.В., Худоёргов С.С., Заиркулов Э.Ё.</i> | 79 |
| КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Темлянец М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И.</i> | 87 |
| КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ <i>Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянец М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С.</i> | 92 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА <i>Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т.</i> | 98 |

ботки мелющих шаров, работающих преимущественно в условиях абразивного износа / Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.К. Соленый // Сталь. 2017. №6. С. 64-69.

7. Ефременко, В. Г. Металлографический анализ причин разрушения стальных катаных тел для барабанных мельниц / В. Г. Ефременко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2000. – №9. – С. 89-91.

УДК 669.184

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Сафонов С.О., Лопатина А.О.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovna@bk.ru*

Аннотация. Проведен сравнительный анализ материальных и тепловых балансов с использованием в качестве охладителя лома и конвертерного шлама. Описаны методы загрузки как обожженных, так и сырых шламовых окатышей в кислородный конвертер. Охарактеризовано влияние данного охладителя на такие параметры конвертерной плавки: расход извести, коэффициенты распределения Mn, P, S.

Ключевые слова: конвертер, продувка, охладитель, окисление, восстановление, шлак, металл.

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF PROCESSING BOF SLUDGE IN AN OXYGEN CONVERTER

Safonov S.O., Lopatina A.O.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovna@bk.ru*

Abstract. A comparative analysis of material and thermal balances with the use of scrap and converter sludge as a cooler is carried out. The methods of loading both burnt and raw slurry pellets into an oxygen converter are described. The influence of this cooler on the following parameters of converter melting is characterized: lime consumption, distribution coefficients Mn, P, S.

Keywords: converter, purge, cooler, oxidation, reduction, slag, metal.

В настоящее время металлургическая промышленность столкнулась с повышением цен на стальной лом и снижением спроса на стальную продукцию. ЕВРАЗ ЗСМК перешли на выплавку стали в кислородном конвертере с долей чугуна в шихте 100 %. В связи с этим возникают проблемы, чтобы не снижалась стойкость футеровки, и не увеличивался расход ферросплавов,

необходимо вводить в плавку охладители. Одним из решений этой проблемы предлагается введение в плавку железосодержащих отходов своего же производства. В данной работе будут рассматриваться окомкованные конвертерные шламы применяемые в качестве охладителей. В таблице 1 приведен химический состав шлама конвертерного производства.

Шлам конвертерного производства можно загружать в сталеплавильный агрегат в виде сырых окатышей или в виде обожженных окатышей. Загружать обожженные окатыши в конвертер можно как совками, так и через бункера.

Таблица 1 - Химический состав конвертерного шлама

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------------|------|------|------|------------------|------|-------------------------------|--------------------------------|------|------|--------|
| FeO | Fe ₂ O ₃ | S | CaO | MgO | SiO ₂ | MnO | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ | ZnO | W | п.п.п. |
| 15,25 | 64,98 | 0,05 | 7,47 | 0,25 | 1,74 | 1,08 | 0,17 | 0,22 | 1,35 | 7,80 | 7,44 |

Сырые окатыши необходимо загружать порциями и обжигать уже в конвертере сжиганием твердого топлива. Для избежания выбросов и других аварийных ситуаций во время заливки чугуна [1-4].

Применение конвертерного шлама вместо металлолома, повысит среднее количество примесей чугуна: углерода, кремния, марганца, фосфора, серы. Повышение среднего содержания углерода в шихте обеспечит процесс жидкофазного восстановления окислов железа в шламе, без дополнительного ввода восстановителя.

Шлам конвертерного производства имеет охлаждающую способность в 4,6 раза больше чем у металлического лома (таблица 2).

Таблица 2 - Охлаждающая способность материалов, °С/ 1 % от массы стали

| Материал | Снижение температуры, °С |
|-------------------|--------------------------|
| Стальной лом | 9 |
| Железная руда | 40 |
| Конвертерный шлам | 42 |
| Известняк | 39 |
| Известь | 16 |

Расчет материального баланса проводился с учетом таких шихтовых материалов как: чугун, шлам, известь, ФОМИ, уголь, электродный бой (таблица 3).

Таблица 3 – Материальный баланс конвертерной плавки

| Поступило | Вес, кг | Получено | Вес, кг |
|----------------------|---------|--|---------|
| Жидкий чугун | 94,500 | Жидкий металл | 90,589 |
| Шламовые окатыши | 5,500 | Шлак | 10,240 |
| Известь | 4,941 | Газы | 11,535 |
| ФОМИ | 0,8 | Пыль в виде Fe ₂ O ₃ | 0,857 |
| Технический кислород | 7,47 | Пыль за счет выдуваемой извести | 0,270 |

Продолжение таблицы 1

| Поступило | Вес, кг | Получено | Вес, кг |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Размыв футеровки | 0,15 | Корольки в шлаке | 0,3 |
| Миксерный шлак | 0,5 | Выбросы и выдувка | 1,0 |
| Уголь | 0,717 | | |
| Электродный бой | 0,2 | | |
| Итого: | 114,778 | Итого: | 114,791 |

* Невязка равна $(114,791 - 114,778) / 114,791 \cdot 100 = 0,011 \%$.

Замена металлолома на конвертерный шлак привело к изменению статей прихода теплового баланса. Большая часть тепла приходится на физическое тепло чугуна из-за его большой доли в шихте. Снижение доли прихода тепла от окисления примесей связано с тем что охладитель минимально вносит примеси которые при окислении дают тепловую энергию (таблица 4).

Таблица 4 – Тепловой баланс конвертерной плавки, %

| Составляющие баланса | Верхнее кислородное дутье |
|---------------------------|---------------------------|
| Поступление теплоты | |
| Физическая теплота чугуна | 60 |
| Окисление примесей | 40 |
| Потери теплоты | 66 |
| Физическая теплота стали | 18 |
| Газа | 12 |
| Шлаков | 4 |
| Потери теплоты | |

На рисунке 1 показано снижение расхода извести на 4 %, коэффициента распределения S на 25 % и повышение коэффициентов распределения P и Mn из-за роста окисленности шлака. Это говорит о снижении содержания фосфора и марганца в металле перед раскислением и повышении содержания серы.



Рисунок 1 – Изменения расхода извести, и коэффициентов распределения Mn, P, S

Количество сырых окатышей в шихте из за низкой доли в шихте определяет необходимое количество совков для загрузки лома. Чтобы загрузить всю порцию сырых окатышей в конвертер, необходим 1 загрузочный совок 50 м^3 . После загрузки и прогрева лома, некоторая часть окатышей расплавится, окатыши частично металлизуются. Во время заливки чугуна, окатыши будут медленно всплывать в шлаковую фазу. Окатыши взаимодействуя с примесями чугуна частично металлизуются, металлизированная часть расплавляется и переходит в железоуглеродистый расплав. Большая часть окатышей будет расплавляться и переходить в шлак при этом взаимодействуя с пузырьками монооксида углерода.

Вначале продувки содержание окислов в шлаке повышенное, поэтому нужно установить положение фурмы на средний уровень, так как окислять железо не нужно, необходимо поддерживать тепловой режим плавки из-за быстрого переохлаждения железоуглеродистого расплава [4-9].

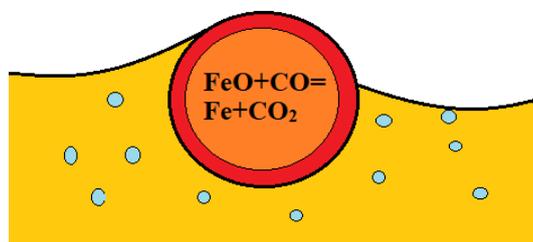


Рисунок 2 – Схема взаимодействия шламового окатыша с шлакометаллической эмульсией и пузырьками СО

Выводы:

1. Применение шламовых окатышей конвертерного производства, снижают расход извести, содержание марганца и фосфора на выпуске, снижается выход жидкого металла, снижается степень удаления серы, снижается расход окислителя на плавку.

2. Большое содержание окислов железа в шлаке повысит износ рабочего слоя футеровки сталеплавильного агрегата.

3. Изменение способа завалки предварительно обожженных окатышей через бункера, позволит убрать операции завалки и прогрева лома, что увеличит производительность конвертера.

Библиографический список

1. Анализ энергосберегающих технологий выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи/ С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 273 – 276.

2. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.

3. Изучение влияния (положения, интенсивности) фурмы на параметры

реакционной зоны / В.С. Фадеев, С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 193-196.

4. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Metallurgia, 2006. - 453 с.

5. Баптизманский, В. И. Конвертерные процессы производства стали / В. И. Баптизманский, М. Я. Меджибожский, В. Б. Охотский.– Киев–Донецк : Вища школа, 1984. – 344 с.

6. Явойский, В. И. Теория продувки сталеплавильной ванны / В. И. Явойский, Г. А. Дорофеев, И. Л. Повх.– Москва: Metallurgia, 1974. – 495 с.

7. Глазов, А. Н. Передел чугунов с пониженным содержанием марганца кислородно-конвертерным процессом / А. Н. Глазов, Л. А. Смирнов, Б. Н. Катенин. –Черная металлургия. Бюл. НТИ, 1977 - С.8–21.

8. Югов, П.И. Шлакообразование при низких концентрациях марганца в конвертерной ванне /П. И. Югов Сталеплавильное производство: Тематич. отраслев. сборник МЧМ СССР. – М.: Metallurgia, 1974. – №2. – С.33–39.

9. Зарвин, Е.Я. О некоторых особенностях дутьевого режима выплавки стали в 350-т конвертерах / Е. Я. Зарвин, А. Г. Чернятевич, Ю. Н. Борисов. –Иzv. вузов. Черная металлургия, 1976. – №12. - С.47–52.

УДК669.018

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е.

*Южно-Казахстанский университет им.М.Ауезова,
г. Шымкент, Казахстан, shevkovm@mail.ru, raisa.uteyeva@mail.ru
Санкт-Петербургский технический университет (институт),
г.Санкт-Петербург, Россия, lavrovba@mail.ru*

***Аннотация.** В статье приведена информация о новой безшлаковой технологии переработки фосфорита электроплавкой с получением ферросплава, карбида кальция и извлечением фосфора в газ. Особенность процесса заключается в том, что в шихту вместо кварцита вводится стальная стружка с отношением в шихте железо кварцит = 2-6, а электроплавка вместо 1450-1500 °С проводится при 1900-2050°С. Технология позволяет увеличить степень комплексного использования сырья от 42,6 % до 80,5-83,8 %, т.е. почти в 2 раза.*

***Ключевые слова:** фосфориты, электроплавка, феррофосфор, технический карбид кальция, ферросплав.*