

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»

| | |
|--|-----|
| РЕЦИКЛИНГ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ <i>Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т., Романенко Ю.Е.</i> | 104 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ LD-КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА <i>Бондар В.И., Мельник С.Г.</i> | 109 |
| ФУТЕРОВКА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГНЕУПОРНЫМ МАТЕРИАЛАМ И УСЛОВИЯМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Плохих П.А., Алексеева В.А., Возжол Н.А., Плохих П.А.</i> | 118 |
| ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА <i>Сущенко А.В.</i> | 127 |
| ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ СМЕСИ КРЕМНЕФТОРИДА И ФТОРИДА НАТРИЯ <i>Аслонов А.А., Ахмадишов И.Ш., Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Сафиев Х.</i> | 137 |
| РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИ <i>Усольцев А.А., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Михно А.Р., Князев С.В.</i> | 142 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570 <i>Зорин И.А., Дриц А.М., Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i> | 149 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫСОКОМАГНИЕВОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМ СКАНДИЕМ <i>Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Коновалов С.В.^{1,2}</i> | 156 |
| О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ <i>Якушевич Н.Ф., Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Безрукова Е.С., Ноздрин Е.В.</i> | 162 |
| ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ <i>Якушевич Н.Ф., Полях О.А., Ноздрин И.В., Аникин А.Е., Ядыкина М.А., Комрони М.</i> | 168 |
| ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ <i>Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Сюльдина С.А., Комрони М.</i> | 175 |
| ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ <i>Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В., Якушевич, Н.Ф., Хорощенко А.А., Комрони М.</i> | 180 |
| ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ <i>Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., Шонходоев З.Ч., Хвостанцева Д.С., Максименко О.А.</i> | 187 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В СТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ <i>Ноздрин И.В., Полях О.А., Лепихов В.С., Аникин А.Е., Комрони М.</i> | 196 |
| ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i> | 205 |

И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева. – Изв. вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 2. – С. 13 – 18.

11. Глушко В.П. Термодинамические свойства индивидуальных веществ : справочник в 4-х томах / В.П. Глушко. – М. : Наука, 1978 – 1982 гг.

12. Spangenberg H.J. Thermodynamische Funktion verschiedener Kohlenwasserstoff – Stickstoff – Verbindungen und Radicals bei hohen Temperaturen und die Zusammensetzung von CHN – Plasmen // Zeitschrift für physikalische Chemie. – 1974. – В. 255. – № 1. – S. 1 – 15.

13. Самсонов Г.В. Физико-химические свойства окислов : справочник / Г.В. Самсонов [и др.]. – М. : Металлургия, 1978. – 472 с.

14. Кржижановский Р.Е. Теплофизические свойства неметаллических материалов : справочник / Р.Е. Кржижановский, З.Ю. Штерн. – Л. : Энергия, 1973. – 333 с.

15. Самсонов Г.В. Физико-химические свойства окислов : справочник / Г.В. Самсонов [и др.]. – М. : Металлургия, 1978. – 472 с.

16. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций / В.А. Киреев. – М. : Химия, 1970. – 519 с.

17. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций / Л.П. Владимиров. – М. : Металлургия, 1970. – 528 с.

УДК 669.184

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ

Сафонов С.О., Лопатина А.О.

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

Аннотация. Проведен анализ эффективности применения твердого топлива и его видов в определенные моменты цикла конвертерной плавки, описан механизм воспламенения твердого топлива и его окисления в сталеплавильном агрегате показан механизм взаимодействия твердого топлива с оксидами шлака.

Ключевые слова: Топливо, металлолом, подогрев металлолома, продувка, тепловая энергия, окисление металлов, восстановление оксидов.

FEATURES OF THE USE OF SOLID FUEL IN CONVERTER SMELTING

Safonov S.O., Lopatina A.O.

*Siberian industrial state university,
Novokuznetsk, Russia, sergey.safonov.1950@mail.ru, olegovvna@bk.ru*

Abstract. The analysis of the efficiency of the use of solid fuel and its types

at certain points of the converter melting cycle is carried out, the mechanism of ignition of solid fuel and its oxidation in a steelmaking unit is described, the mechanism of interaction of solid fuel with slag oxides is shown.

Keywords: Fuel, scrap metal, heating of scrap metal, purging, thermal energy, oxidation of metals, reduction of oxides.

Введение

Кислородно-конвертерный процесс с верхней продувкой за годы существования всегда направлялся в сторону улучшения технико-экономических показателей производства. Увеличение или уменьшение доли металлолома (охладителя) в шихте всегда позволяло управлять технико-экономическими показателями процесса. Стоимость металлолома определяет его эффективную долю в шихтовых материалах с целью получения замкнутого теплового баланса, если стоимость лома выше чем стоимость чугуна, то появляется необходимость применения более дешевых охладителей в конвертерной плавке.

Ввод твердого топлива в кислородный конвертер можно проводить в разные периоды плавки. В настоящее время на металлургических предприятиях дают уголь на прогрев металлического лома. Эта операция необходима с точки зрения безопасности, но она несет в себе и преимущества в технико-экономическом плане, так как вносится дополнительная энергия в процесс.

Применение твердого топлива в кислородно-конвертерном процессе позволяет: повысить долю металлического лома, восстанавливать оксиды марганца и железа в шлаке, повышать выход жидкого металла в конце продувки. Недостатки: снижение производительности сталеплавильного агрегата, повышение содержания FeS, [H] и [N] в полупродукте.

Твердое топливо, которое применяется на данный момент в конвертерном процессе это уголь и кокс. Топливом кислородно-конвертерного процесса может быть кокс, различные марки углей, твердые бытовые отходы, отходы металлургических производств, с теплоносителями в составе (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав горючих компонентов бытовых отходов и других видов теплоносителей

| Компоненты | W, % | Содержание, % сухой массы | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------------------------|------|----------------|----------------|----------------|-----|----|----|
| | | A | C | H ₂ | O ₂ | N ₂ | S | Si | Ca |
| Кокс | 5,0 | 10,0 | 87,7 | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 0,4 | - | - |
| Уголь ТОМ, р-з Междуреченский | 5,0-9,0 | 10,0 | 83,4 | 2,5 | 2,3 | 1,7 | 0,4 | - | - |
| Уголь ССО, р-з Бачатский | 6,5-10,0 | 8,0 | 81,1 | 4,0 | 4,5 | 2,0 | 0,3 | - | - |
| Резина (отработанные автошины) | 9,0-10,0 | 2,5 | 85,0 | 8,2 | 2,4 | 0,4 | 1,5 | - | - |

Продолжение таблицы 1

| Компоненты | W, % | Содержание, % сухой массы | | | | | | | |
|---|------|---------------------------|------|----------------|----------------|----------------|-----|------|------|
| | | A | C | H ₂ | O ₂ | N ₂ | S | Si | Ca |
| Бумага | <1,0 | 4,0 | 42,6 | 5,9 | 47,4 | 0,5 | 0,2 | - | - |
| Полиэтилен | <1,0 | 4,0 | 91,5 | 8,0 | - | 0,5 | 0,1 | - | - |
| Полистирол | <1,0 | <1,0 | 96,5 | 3,0 | - | 0,2 | - | - | - |
| Полиэтилентерефталат | <1,0 | <1,0 | 55,0 | 4,0 | 41,0 | - | - | - | - |
| Поливинилхлорид | <1,0 | 1,0-3,0 | 55,0 | 5,0 | - | 0,5 | 0,1 | - | - |
| Текстиль | <1,0 | 1,0-3,0 | 55,1 | 6,8 | 31,2 | 4,8 | 0,1 | - | - |
| Древесина | 1,0 | 1,0 | 51,0 | 6,1 | 41,6 | 0,2 | 0,1 | - | - |
| Электродный бой | 10,0 | 90,0 | 9,5 | - | - | - | 0,5 | - | - |
| Шлак ферросилиция ФС75 (с корольками металла и SiC) | - | 68,0 | 0,6 | - | - | - | 0,4 | 31 | - |
| Карбид кремния | - | 30,0 | - | - | - | - | - | 70,0 | - |
| Карбид кальция | - | 1,0 | 26,2 | - | - | - | 0,3 | - | 72,5 |

Применение твердого топлива на прогрев металлического лома

В мировой практике широкое распространение получил подогрев металлолома.

Доля лома в шихте, в случае его подогрева, может быть оценена с помощью уравнения, полученного из теплового и материального баланса плавки:

$$G_{л} = \frac{Q_{изб}}{(q_{л} + 0,01 Q_{изб} - \Delta T C_{л})}$$

где $G_{л}$ – доля лома, %;

$Q_{изб}$ – избыточная теплота процесса, кДж/100 кг чугуна;

ΔT – величина подогрева металлолома, К;

$C_{л}$ – теплоемкость твердого лома, кДж/(кг·К), для температур обычного прогрева лома может быть принята 0,7;

$q_{л}$ – охлаждающий эффект лома, кДж/кг.

Наибольшие трудности при подогреве лома связаны с правильной оценкой эффективности этого процесса вследствие наличия многих сменных факторов, определяющих термический КПД, и прежде всего с тем, что при высоких температурах топливо не сгорает полностью до CO, и H₂O. Когда лом с поверхности начинает плавиться, жидкое железо, имеющее довольно высокое сродство к кислороду, окисляется, что также тормозит сгорание топлива [1]. По ходу подогрева тепловой поток снижается вследствие повышения температуры лома, уменьшения перепада температур и образования на кусках лома малотеплопроводного слоя оксидов железа. При чрезмерном перегреве термический КПД снижается, удлиняется нагрев, повышается сте-

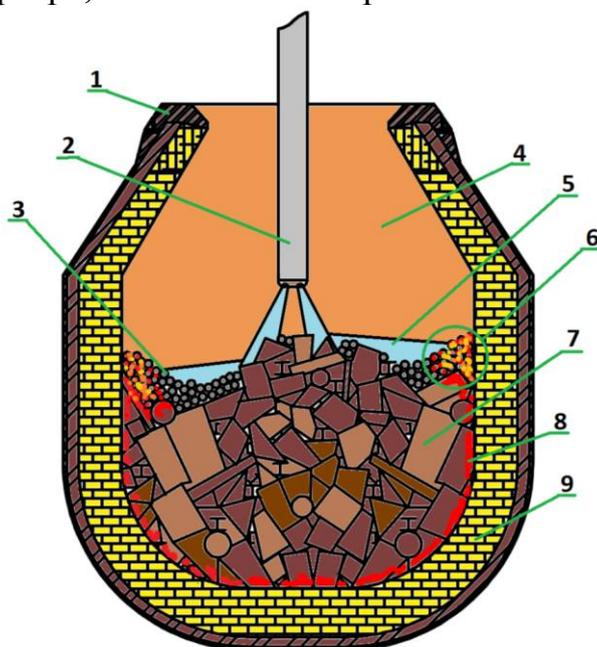
пень окисления железа лома (в шлаковых пробах, взятых сразу после окончания нагрева, содержится 63-92% FeO). Интенсивное окисление лома вызывает бушующие реакции при заливке чугуна, увеличивает ее продолжительность, снижает производительность конвертера, требует большой осторожности от ведущих плавку. Приведенные данные основаны на практике последних лет.

Механизм прогрева металлического лома за счет горения твердого топлива происходит в таком режиме:

1) После загрузки лома в конвертер, лом начинает прогреваться на границе лом-футеровка.

2) Из бункеров подается топливо на металлический лом, далее он прогревается и воспламеняется на границе футеровка – топливо - раскаленный металлолом.

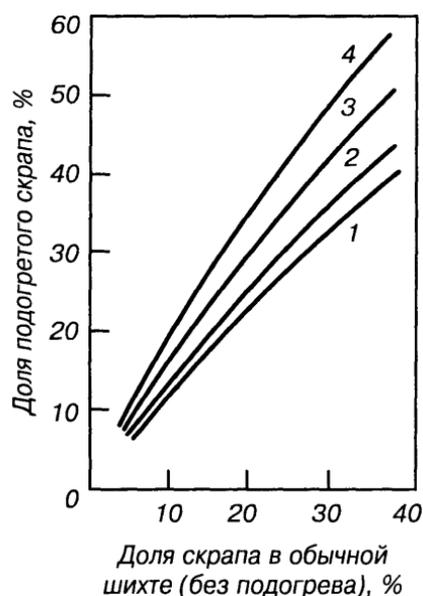
3) Воспламененное топливо взаимодействует с кислородом в рабочем пространстве конвертера, и окисляются горючие компоненты топлива.



- 1 - Защитный шлем, 2 – кислородная фурма, 3 – твердое топливо, 4 – отходящие горючие газы, 5 – кислородная струя, 6 – реакции воспламенения и горения топлива, 7 – металлический лом, 8 – подогретый теплом футеровки лом, 9 – горячая футеровка

Рисунок 1 – Начальная стадия прогрева металлического лома

Если использовать твердые бытовые отходы в виде топлива, то они грузятся в конвертер во втором совке с металлическим ломом. И во время загрузки этого совка ТБО быстро воспламеняются, и процесс горения проходит интенсивнее, чем при применении углей. На рисунке 2 приведено сравнение доли металлолома в шихте конвертерной плавки с подогревом лома и без подогрева. При подогреве металлического лома в конвертере от 30-50 % топлива может не догорать из-за особенностей применяемого лома и его форм [2].



1-260 °C; 2-538 °C; 3-815 °C, 4-1093 °C

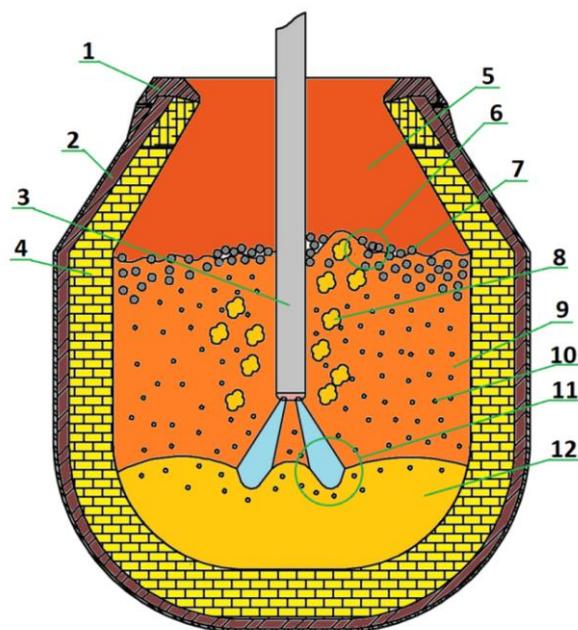
Рисунок 2 – Влияние на долю металлолома в металлической шихте температуры его нагревания, °C

Применение твердого топлива во время продувки

Ввод твердого топлива в конвертерную ванну можно проводить в любой период продувки, но необходимо учитывать физико-химические особенности конвертерной ванны в определенный момент продувки. Если дается твердое топливо, когда фурма в низком положении, топливо будет реагировать с оксидами в шлакометаллической эмульсии из – за низкой плотности твердого топлива 1-1,5 кг/м³ (рисунок 3). Реакции, которые протекают в шлаке с поглощением тепла, а реакции, протекающие с газообразным кислородом экзотермический эффект. Применение двухъярусной кислородной фурмы позволит повысить степень дожигания топлива кислородом второго яруса. На таблице 2 приведены тепловые эффекты реакций окисления (с кислородом) и восстановления (с твердым углеродом) [3].

Таблица 2 – Значение тепловых эффектов реакций окисления и восстановления

| Реакция | Тепловой эффект реакции окисления на 1 кг элемента, кДж |
|-----------------------------|---|
| $[C]+{O_2}={CO_2}$ | 34094 |
| $[C]+1/2{O_2}={CO}$ | 10458,2 |
| $[Si]+{O_2}=(SiO_2)$ | 30913,8 |
| $[Mn]+1/2{O_2}=(MnO)$ | 7018,3 |
| $[Fe]+1/2{O_2}=(FeO)$ | 4826,9 |
| $2[Fe]+1,5{O_2}=(Fe_2O_3)$ | 7374,4 |
| $(Fe_3O_4)+[C]=3(FeO)+{CO}$ | -642829,7 |
| $(FeO)+[C]=[Fe]+{CO}$ | -152088,4 |
| $(MnO)+[C]=[Mn]+{CO}$ | -287189,7 |



1 – Защитный шлем, 2 – арматурный слой футеровки, 3 – кислородная фурма, 4 – рабочий слой футеровки, 5 – отходящие газы, 6 – твердое топливо реагирует со шлакометаллической эмульсией, 7 – твердое топливо, 8 – всплески металла из реакционной зоны, 9 – шлакометаллическая эмульсия, 10 – газовые пузыри монооксида и диоксида углерода, 11 – реакционная зона, 12 – железоуглеродистый расплав

Рисунок 3 – Схема подачи твердого топлива в процессе продувки

Для того чтобы топливо реагировало с газообразным кислородом, необходимо поднять фурму в верхнее положение, далее ввести твердое топливо и начинать его раздувать на поверхности шлакометаллической эмульсии и постепенно опускать фурму. При таком режиме продувки можно сжечь от 75 - 40% твердого топлива кислородным факелом. Степень эффективности горения топлива в конвертере определяется: физико-химическими параметрами топлива, количеством сопел в кислородной фурме, интенсивностью продувки, количеством и высотой уровня шлака [4].

Выводы

Если у металлургического предприятия существует возможность загружать ТБО вместе с металлическим ломом, то это позволит снизить время прогрева металлолома от 10 - 20% из-за низкой температуры воспламенения ТБО, экономить на дешевом теплоносителе, утилизировать ТБО в агрегате с высоким тепловым КПД.

Прогрев металлического лома имеет максимальную эффективность до 800°C, потому что при нагреве лома до более высокой температуры начинает окисляться железо и из-за этого снижается производительность агрегата. Учитывая условия прогрева лома достичь температуры 800°C, можно только в верхних слоях лома, в середине и нижних участках металлошихты температура лома варьруется от 300 до 600°C.

Количество сопел в наконечнике кислородной фурмы, влияет на ин-

тенсивность горения топлива, как во время прогрева лома, так и в ходе продувки из-за количества реакционных зон.

Наиболее подходящим этапом продувки для подачи твердого топлива является третья четверть продувки в связи с наилучшими условиями для восстановления марганца и железа твердым углеродом, и высокой температуры процесса при которой углерод имеет большую активность к кислороду. Это позволит перевести часть марганца и железа из шлаковой фазы за счет недогоревшего в струе кислорода угля. Наибольшая тепловая эффективность для применения твердого топлива в конвертерной ванне во время продувки определяется в 75 – 85 % от продолжительности продувки, ведь именно в этот промежуток времени недогоревшее топливо вступит в химическое взаимодействие с оксидами марганца и железа, тем самым увеличив выход жидкого металла плавки.

Библиографический список

1. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Metallurgy, 2006. - 453 с.

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. Kwon J.H., Lee J.A., Lee K.U., Han J.W. A study on the supersonic jet nozzle to improve of the operating efficiency of the converter process. Journal of Korean Institute of Metals and Materials. 2020, vol. 58, no.8, pp. 550-559. <https://doi.org/10.3365/KJMM.2020.58.8.550>

УДК 669.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕПЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА НАСЛЕДСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ В СТАЛИ 09Г2С

Солоницын А.Р.

*Выксунский филиал НИТУ «МИСИС»,
Выкса, Россия, solonitsyn07122001@yandex.ru*

Аннотация: В данной работе представлены результаты наблюдений влияния микролегирования титаном и ниобием на аномальный рост аустенитного зерна при рекристаллизации. Объектом исследований была выбрана популярная современная конструкционная сталь различных исполнений, применяемая для изготовления сварных труб. Итоги наблюдений на данном