

*Васильев Д.Б.,
к.т.н. Куберский С.В.,
к.т.н. Кравченко В.М.
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОГО ЛОМА ЖЕЛЕЗОРУДНЫМИ БРИКЕТАМИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРАХ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ

Розглянута ефективність заміни сталевого брухту на гарячебрикетоване залізо при виплавці сталі в конвертерах комбінованого дуття.

***Ключові слова:** гарячебрикетоване залізо, брикети, сталевий брухт, конвертер комбінованого дуття.*

Рассмотрена эффективность замены стального лома на горячебрикетированное железо при выплавке стали в конвертерах комбинированного дутья.

***Ключевые слова:** горячебрикетированное железо, брикеты, стальной лом, конвертер комбинированного дутья.*

Расширение объемов производства чистых по не удаляемым металлургическим путем примесям сталей с одной стороны и неудовлетворительное качество и ценовая политика на металлический лом с другой ставит задачу поиска новых видов шихтовых материалов для производства стали в конвертерах [1]. В этой связи, на ОАО «Алчевский металлургический комбинат» опробована замена стального скрапа горячебрикетированным железом (ГБЖ), произведенным на Лебединском ГОКе.

Исходным сырьем для получения ГБЖ являются офлюсованные окатыши с массовой долей железа более 66,5 %, получаемые из железорудного концентрата. В основе производства металлизированных брикетов лежат процессы прямого восстановления железа по технологиям MIDREX и HYL-III в шахтных восстановительных печах ОАО «Лебединский ГОК» мощностью 2,4 млн. т брикетов в год.

Металлизированный брикет имеет форму параллелепипеда с закругленными гранями, размером 110×50×35 мм. Масса брикета 0,5-0,6 кг, плотность – 4,8-5,0 г/см³. Таким образом металлизированные брикеты могут быть использованы не только как заменитель стального скрапа, но и присаживаться по ходу продувки конвертерной ванны.

Согласно ТУ 0726-003-00186803-2001 металлизированные брикеты I сорта должны иметь степень металлизации не менее 90 % и содержание железа металлического не менее 81 %. Средний химический состав ГБЖ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Средний химический состав горячебрикетированного железа, %

| | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|---------|
| Металлическая часть | Fe | 84,89 | 86,0443 |
| | C | 1,13 | |
| | S | 0,011 | |
| | P | 0,013 | |
| Оксиды железа | FeO | 5,9066 | 6,5628 |
| | Fe ₂ O ₃ | 0,6562 | |
| Прочие оксиды | SiO ₂ | 4,330 | 7,3929 |
| | Al ₂ O ₃ | 0,971 | |
| | CaO | 1,060 | |
| | MgO | 0,270 | |
| | K ₂ O+Na ₂ O | 0,112 | |
| | TiO ₂ | 0,650 | |

Из таблицы 1 видно, что металлическая часть ГБЖ составляет ~ 86 %, неметаллическая – 14 %, из которой почти половина – оксиды железа. Общая загрязненность металлизированных брикетов шлакообразующими компонентами составляет ~ 14 % против 3–5 % у стального скрапа.

Опытные плавки с заменой стального скрапа на ГБЖ проведены в кислородно-конвертерном цехе ОАО «АМК», который имеет в своем составе 2 конвертера комбинированного дутья садкой 300 т каждый, двухпозиционную установку «ковш-печь» и две слябовые двухручьевые машины непрерывного литья заготовок.

Для анализа технологических параметров конвертерной плавки были рассмотрены два варианта технологии: плавки по обычной технологии (105 плавов) и при полной замене скрапа на ГБЖ (12 плавов). Основные технологические показатели опытных и сравнительных плавов приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что замена стального скрапа на ГБЖ ведет к существенному повышению выхода жидкой стали (на 2,41 % абс.), что приводит к снижению удельного расхода металлошихты с 1094,70 кг/т до 1066,21 кг/т. Повышение выхода годного можно объяснить увеличением доли чугуна при работе на ГБЖ (994,53 кг/т против 916,77 кг/т), а также частичным восстановлением железа из оксидов железа ГБЖ.

Таблица 2 – Технологические показатели конвертерных плавов проведенных с использованием стального скрапа и ГБЖ

| Показатели | Вариант технологии кислородно-конвертерной плавки | |
|---|---|----------------------|
| | С использованием стального скрапа | С использованием ГБЖ |
| Количество опытных плавов, шт | 105 | 12 |
| Удельный расход металлошихты, кг/т | 1094,70 | 1066,21 |
| в т. ч. передельного чугуна, кг/т | 916,77 | 994,53 |
| в т. ч. стального скрапа, кг/т | 177,93 | - |
| в т. ч. ГБЖ, кг/т | - | 71,68 |
| Удельный расход извести, кг/т | 78,73 | 76,69 |
| Удельный расход доломита, кг/т | 11,74 | 10,66 |
| Удельный расход плавикового шпата, кг/т | 2,56 | 1,28 |
| Средний химический состав чугуна, % | | |
| C | 4,61 | 4,64 |
| Si | 0,72 | 0,60 |
| Mn | 0,18 | 0,31 |
| S | 0,014 | 0,016 |
| P | 0,049 | 0,057 |
| Средняя температура чугуна, °С | 1351 | 1308 |
| Средний химический состав металла перед раскислением, % | | |
| C | 0,05 | 0,04 |
| Mn | 0,09 | 0,08 |
| S | 0,017 | 0,016 |
| P | 0,006 | 0,010 |
| Средний расход кислорода на плавку, нм ³ | 15929,9 | 16026,4 |
| Средняя температура металла на выпуске, °С | 1679 | 1670 |
| Средняя основность конечного шлака, ед | 2,93 | 2,92 |
| Среднее содержание (FeO) в конечном шлаке, % | 24,27 | 23,30 |
| Средняя степень дефосфорации металла, % | 86,28 | 82,16 |
| Средний выход годного металла, % | 91,45 | 93,86 |
| Средняя длительность продувки, мин | 16,2 | 14,8 |

Доля стального скрапа в составе металлошихты для варианта характерного работе на металлическом скрапе составила 16,25 %, доля ГБЖ – 6,67 % для второго варианта технологии. Рассматривая тепловую сторону процесса нельзя не учесть химический состав чугуна и его температуру. Более низкая температура стали при варианте с использованием ГБЖ (1670°С против 1679°С) может быть объяснена меньшей температурой чугуна (1308 °С против 1351 °С), снижением прихода тепла от окисления кремния, а также затратами тепла на частичное восстановление оксидов железа ГБЖ. Для плавов с использованием стального скрапа чугун содержит в среднем 0,72 % кремния, что на 0,12 % больше, чем его содержание в чугуне (0,60 %) при использовании ГБЖ.

В настоящее время все большее распространение получают так называемые IF-стали с повышенными пластическими и коррозионно-стойкими свойствами [2]. Одной из характерных особенностей таких сталей являются высокие требования к минимизации содержаний углерода и цветных металлов. Учитывая, что при производстве IF-сталей существует проблема «передутых» плавов, когда металл приходится дополнительно охлаждать в конвертере присадками твердых охлаждающих, вариант с использованием ГБЖ является более приемлемым.

Основным источником цветных металлов в стали является металлический лом. Использование ГБЖ, как заменителя стального скрапа, позволяет решить эту проблему, так как ГБЖ производится из железной руды. Для сравнения двух технологий по содержанию цветных металлов в стали были проанализированы паспорта конвертерных плавов. Среднее содержание цветных металлов в готовой стали при использовании стального скрапа и ГБЖ представлено в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, вариант с использованием ГБЖ содержит меньшее количество цветных металлов (минимальное снижение содержания 0,0004 или 14,28 % по молибдену, максимальное – 0,0025 или 69,44 % по ниобию).

Наряду с вышесказанным, при производстве стали в конвертерах комбинированного дутья одним из критериев оценки технологий является степень удаления фосфора. Как видно из таблицы 2 содержание фосфора в готовой стали при замене стального скрапа на ГБЖ повысилось с 0,006 % до 0,010 %.

Исследование процесса дефосфорации обоих вариантов технологии показало, что основным фактором способствующим снижению степени дефосфорации металла (с 86,28 % до 82,16 %) является снижение окисленности конечного шлака при работе с ГБЖ (рисунок 1).

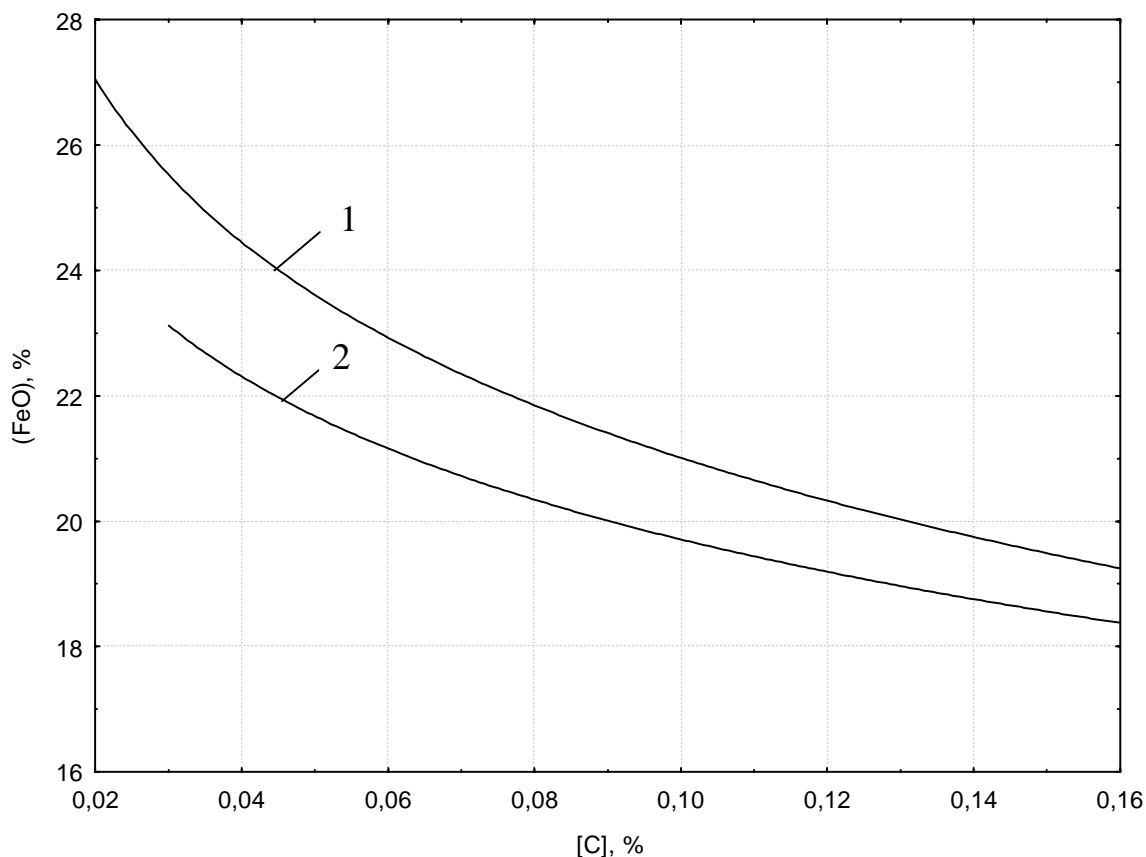
Таблица 3 – Средний химический состав готовой стали по цветным металлам, %

| | Лом | ГБЖ | Уменьшение содержания компонента, % | Относительное уменьшение содержания компонента, % |
|----------|--------|--------|-------------------------------------|---|
| Cr | 0,0230 | 0,0170 | 0,0060 | 26,09 |
| Ni | 0,0160 | 0,0120 | 0,0040 | 25,00 |
| Cu | 0,0210 | 0,0140 | 0,0070 | 33,33 |
| Ti | 0,0015 | 0,0009 | 0,0006 | 40,00 |
| Mo | 0,0028 | 0,0024 | 0,0004 | 14,28 |
| V | 0,0028 | 0,0021 | 0,0007 | 25,00 |
| Nb | 0,0036 | 0,0011 | 0,0025 | 69,44 |
| Sn | 0,0015 | 0,0011 | 0,0004 | 26,67 |
| Σ | 0,0722 | 0,0506 | 0,0216 | 29,92 |

На рисунке 1 указано изменение содержания (FeO) в зависимости от конечного содержания углерода в металле, характерное для двух сравниваемых процессов. Как видим, (FeO) с применением брикетов в среднем на 0,97 % ниже чем при работе на металлическом скрапе. Такой характер поведения (FeO) может быть связан с частичным диффузионным раскислением шлака углеродом, содержащимся в брикетах, а также частичным восстановлением оксидов железа брикетов, которое происходит с поглощением тепла. На основании величины коэффициента распределения кислорода между шлаком и металлом можно утверждать, что снижение температуры расплава будет способствовать меньшей растворимости кислорода в металле, а следовательно снижению (FeO) [3]. Однако, для более точного описания этого процесса необходимо полностью проанализировать тепловую сторону плавки. С другой стороны снижение содержания (FeO) в шлаке вероятно связано с повышением интенсивности перемешивания конвертерной ванны благодаря уменьшению времени расплавления ГБЖ по сравнению со стальным скрапом и более длительным периодом нахождения расплава в жидком состоянии.

Анализ опытных данных показывает, что среднее количество шлака при использовании ГБЖ на 3,5 т превышает аналогичный показатель для случая работы на стальном скрапе. Учитывая средний расход ГБЖ, составляющий 30 т, а также содержащихся в нем 14 % шлакообразующих примесей эта разница должна составлять около 4,2 т. На основании этого можно предположить, что 0,7 т это количество оксидов железа восстановленных и перешедших в металл. Таким образом, из всего ко-

личества железа содержащегося в оксидах ГБЖ (1,8 т), 1,1 т переходит в шлак, а остальное – восстанавливается, тем самым повышая выход годного на 0,54 %. Остальное повышение выхода годного может быть объяснено меньшим угаром примесей из-за более холодного хода процесса.



1 – использование стального скрапа; 2 – использование ГБЖ

Рисунок 1– Зависимость окисленности шлака от содержания углерода перед раскислением при использовании

Таким образом, горячебрикетированное железо может быть использовано в конвертерном производстве как для замены стального скрапа так и по ходу продувки в качестве охлаждающей добавки.

Полная замена стального скрапа на ГБЖ позволяет:

- улучшить прогнозируемость хода конвертерной плавки и химического состава получаемого продукта в связи со стабильным химическим составом ГБЖ;

- повысить выход жидкой стали;

- снизить окисленность металла и шлака на выпуске из конвертера;

- снизить содержание в стали цветных металлов

Библиографический список

1. Поживанов М.А., Шахпазов Е.Ф., Свяжин А.Г. *Выплавка стали для автолиста*. – М.: Интерконтакт Наука, 2006. – 166 с.

2. Кузнецов Д.Ю. *Термодинамический анализ процессов насыщения кремнием автолистовых сталей при внепечной обработке их на установке ковш-печь* / Д.Ю. Кузнецов, С.В. Куберский, Д.Б. Васильев // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – № 27. – С. 317 – 323.

3. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. *Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручни.* – Дніпропетровськ: РВА»Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.