

*д.т.н. Новохатский А.М.,
Карпов А.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АНТРАЦИТА НА КОЛОШНИКЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ЗАГРУЗКИ

Приведена схема завантаження антрациту на колошник, відповідно до якої вугілля завжди вантажиться з першим скипом залізорудного мінералу, між шарами коксу і агломерату. Представлена схема розподілу шихтових матеріалів на колошнику доменної печі. Приведена методика розрахунку витрати антрациту, на основі його взаємодії з FeO.

***Ключові слова:** антрацит, система завантаження, відновлення заліза, розподіл матеріалів, колошник.*

Приведена схема загрузки антрацита на колошник, в соответствии с которой уголь всегда грузится с первым скипом железорудного минерала, между слоями кокса и агломерата. Представлена схема распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Приведена методика расчета расхода антрацита, на основе его взаимодействия с FeO.

***Ключевые слова:** антрацит, система загрузки, восстановление железа, распределение материалов, колошник.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Ровная и высокопроизводительная работа доменной печи во многом зависит от распределения газа в ее рабочем пространстве. В свою очередь газодинамика печи зависит от распределения шихтовых материалов на колошнике. Поэтому, управляя очередностью загрузки шихтовых материалов, возможно управлять распределением газа по сечению печи.

При применении антрацита в качестве частичного заменителя кокса необходимо уделять особое внимание вопросам газопроницаемости, так как у угля более низкая механическая прочность и особенно горячая.

Поэтому вопросы, касающиеся загрузки шихтовых материалов, при использовании альтернативных видов топлив являются актуальными.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время существует множество методов загрузки антрацита в доменную печь. Рассмотрим некоторые из них.

Коллектив авторов Донецкого научно-исследовательского института черной металлургии [1], отмечают, что при использовании каменного угля в шихте доменных печей для частичной замены им кокса контролируют содержание кремния в чугунах и при нахождении его в пределах 0,5-3,6 % расход каменного угля поддерживают пропорциональным содержанию кремния в чугунах, определяя его по выражению

$$Y = 5,0 + 1,39 \cdot (Si - 0,5), \%$$

где Y – расход угля, %;

5,0 – расход угля, %, при содержании кремния в чугунах 0,5 %;

1,39 – изменение расхода угля, %, на 1 % кремния в чугунах;

Si – массовая доля кремния в чугунах, %;

0,5 – предел содержания кремния в чугунах, ниже которого загрузку каменного угля в доменную печь не производят.

В России на ОАО "Северсталь" предложили [2] загружать в доменную печь послойно железорудные материалы, кокс и в определенную зону колошника твердую топливную добавку. Для обеспечения газопроницаемости столба шихтовых материалов в зоне плавления и высокопроизводительной работы печи кокс рекомендуют загружать слоями, высота которых составляет 0,1-0,8 радиуса колошника, а твердую топливную добавку загружать в периферийную зону колошника шириной 0,1-0,5 радиуса колошника в количестве от 0,5 до 45 % массы кокса в подаче. В качестве твердой топливной добавки загружают мелкофракционный кокс, фракционный каменный уголь, брикетированный каменный уголь, торфяные брикеты, торфоугольные брикеты, окускованные углеродсодержащие промышленные отходы, окускованные смеси углеродсодержащих промышленных отходов, каменного угля или торфа.

Авторы патента [3] предложили загрузку в печь железорудной части шихты и топливной ее части, состоящей из кокса и каменного угля, расход которого в ней определяют по контрольным параметрам, и регулирование при загрузке расхода кокса и каменного угля, определять перед загрузкой в печь термическую стойкость каменного угля и после реакционную прочность кокса, по их величинам в качестве контрольного параметра находить потенциал образования мелких фракций топливной части шихты и определять в ней максимальный расход каменного угля из следующего соотношения

$$Y_{\text{пом}} = (100 - \tau_{\text{птс}}) + (100 - \tau_{\text{сст}}),$$

$$Y = A \cdot Y_{\text{пом}},$$

где $Y_{\text{пом}}$ – потенциал образования мелких фракций топливной части шихты, %;

$T_{\text{штс}}$ – термическая стойкость каменного угля, %;

T_{csr} – послереакционная способность кокса, %;

U – максимальный расход угля в топливной составляющей, %;

A – коэффициент пропорциональности, доли ед.

Авторы патента [4] совместили вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) и загрузку через колошник кускового угля. Ими поставлена задача, обеспечить ровность хода в допустимых пределах при проплавке мелких железорудных материалов и повышенном расходе угольной пыли в дутье. Техническим результатом, который достигается в изобретении, является повышение газопроницаемости зоны размягчения железорудных материалов в смеси с углеродсодержащей добавкой.

Разнообразие методов использования дополнительного твердого топлива показывает актуальность проблемы, которая требует оригинального решения.

Постановка задачи. Разработать способ доменной плавки с применением в составе топливной части шихты каменных углей при сохранении показателей работы доменных печей. Определить схему расположения материалов на колошнике доменной печи при загрузке шихтовых материалов.

Изложение материала и его результаты. В связи со спецификой конструкции доменной печи, при нормальной ее работе большая часть газов идет по периферийной и промежуточной зоне, а меньшая часть уходит в центральную зону. Поэтому в промежуточной и периферийной зоне происходит основная часть реакций восстановления железорудных материалов и газификации углерода. В связи с этим уголь необходимо загружать так, чтобы он находился именно в этих зонах.

Как было отмечено ранее, антрацит имеет низкую горячую прочность, поэтому необходимо добиться максимальной его газификации и расхода на реакции прямого восстановления. Для этого предложено загружать его между слоями агломерата и кокса. В этом случае достигаются необходимые эффекты, а также предохраняется часть кокса, на котором расположен антрацит от расходования.

Учитывая вышеизложенное, наиболее оптимально загружать антрацит с первым скипом железорудного материала по системам загрузки: $(U+A)AKK$, $K(U+A)AK$, $KK(U+A)A$. Для данных типов загрузки было построено распределение материалов на колошнике. По исследованиям [5] известно, что ссыпание происходит в 3 периода. Вначале ссыпаются материалы, находящиеся непосредственно в кольцевой щели между конусом и чаше, затем по вертикальной стенке чаши и в конце материалы, находящиеся на образующей конуса. Соответственно ско-

рость и траектория падения разных периодов будет отличаться. Для исследований была выбрана доменная печь №5 ПАО «АМК» полезным объемом 1719 м³.

Углы естественного откоса составили [6] агломерат 40°(α_a), кокс 43°(α_k), антрацит 45°($\alpha_{антр}$). Угол естественного откоса на колошнике [6] для агломерата, кокса и антрацита соответственно составят

$$\begin{aligned}\alpha_a'' &= \tan(\alpha_a) - 0,51 \cdot h_3 / 3,45 = \tan(40) - 0,51 \cdot 1,5 / 3,45 = 31^\circ 40'; \\ \alpha_k'' &= \tan(\alpha_k) - 0,51 \cdot h_3 / 3,45 = \tan(43) - 0,51 \cdot 1,5 / 3,45 = 35^\circ 35'; \\ \alpha_{антр}'' &= \tan(\alpha_{антр}) - 0,51 \cdot h_3 / 3,45 = \tan(45) - 0,51 \cdot 1,5 / 3,45 = 37^\circ 50',\end{aligned}$$

где h_3 - уровень засыпи, м.

Скорость движения шихтовых материалов по сечению печи является различной. Скорость опускания материалов у оси печи 40 м/с у периферии 65 м/с [6]. Поэтому угол поверхности, на которую будет сыпаться новая подача шихтовых материалов, составит: для агломерата 22°50', кокса - 26°50', антрацита 29°40'.

Учитывая вышеизложенное и зная, расходы материалов, возможно отобразить распределение материалов на колошнике с учетом слоя антрацита, находящегося между антрацитом и коксом. Схема расположения материалов на колошнике отображена на рисунке 1.

На представленных системах загрузки антрацит загружается совместно с первым скипом агломерата. Для прямых подач большая часть антрацита концентрируется у периферии (рис. 1а), а меньшая часть скачивается в промежуточную зону. Известно, что при загрузке прямых подач, максимально используется восстановительная и теплообменная функция газа. Также исследования по [7] подтверждают эффективность применения прямых подач с точки зрения газопроницаемости зоны когезии. Загрузка обратных подач (рис. 1б) и коксом по краям (рис. 1в) похожа местоположением слоя антрацита. В этом случае слой более равномерно распределен по поверхности кокса, за счет того, что уголь находится в самой подаче, а не ложится на уровень засыпи.

Одной из задач при применении антрацита является предотвращение попадания его в горн. Для этого была разработана методика определения максимально возможного расхода антрацита. Образующийся FeO, в результате восстановления более высших оксидов, будет взаимодействовать с антрацитом, тогда расход антрацита будет зависеть от количества образующегося FeO.

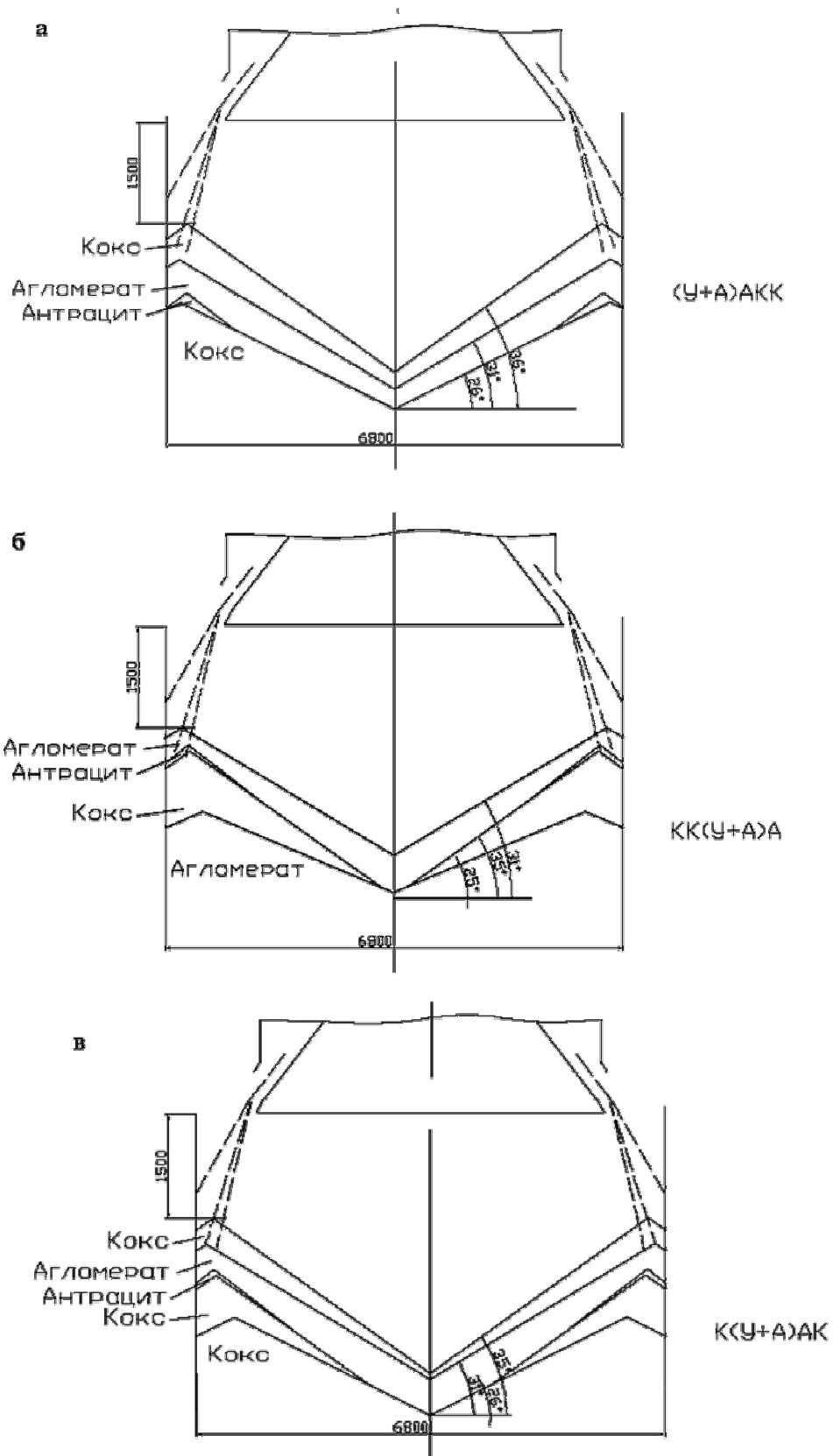
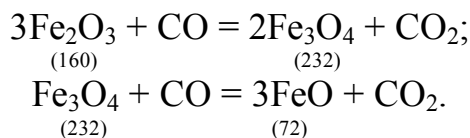


Рисунок 1 – Схема распределения материалов на колошнике доменной печи при различных подачах

Для расчета образующегося FeO воспользуемся реакциями восстановления оксидов железа



Зная количество поступающего Fe₂O₃ в доменную печь по молярной массе можно рассчитать количество образующегося FeO

$$Fe_3O_4 = \frac{Fe_2O_3 \cdot 2 \cdot 232}{3 \cdot 160}, \text{ кг/т чугуна}$$

где Fe_3O_4 , Fe_2O_3 расход соответствующих оксидов на тонну чугуна; 160, 232 молярные массы соответственно Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , г/моль.

$$FeO_{Fe_2O_3} = \frac{Fe_3O_4 \cdot 3 \cdot 72}{232}, \text{ кг/т чугуна}$$

где $FeO_{Fe_2O_3}$, Fe_3O_4 расход соответствующих оксидов на тонну чугуна;

72, 232 молярные массы соответственно FeO , Fe_3O_4 , г/моль.

Преобразовав формулы (1) и (2), получаем максимальный расход антрацита

$$P_A = r_d \frac{(232 \cdot 3 \cdot 160 \cdot FeO + Fe_2O_3 \cdot 2 \cdot 232 \cdot 3 \cdot 72) \cdot 12 \left(\frac{C}{100} \right)}{232 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 72 \cdot 100}, \text{ кг/т чугуна}$$

где FeO , Fe_2O_3 содержание FeO и Fe_2O_3 в шихте, кг/т чугуна;

r_d – показатель прямого восстановления по Павлову, %;

C – содержание углерода в антраците, %.

Например, шихта состоит из 1125,7 кг/т чугуна Fe₂O₃, 198 кг/т чугуна FeO, показатель прямого восстановления 35%, содержание углерода в антраците 88%. Значит, максимально возможный расход антрацита будет составлять

$$P_A = 35 \frac{(232 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 198 + 1125,7 \cdot 2 \cdot 232 \cdot 3 \cdot 72) \cdot 12 \left(\frac{88}{100} \right)}{232 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 72 \cdot 100} = 65,7 \text{ кг/т чугуна}$$

Исходя из данной методики, расход угля составит 65,7 кг/т чугуна.

Выводы и направления дальнейших исследований. Приведена схема загрузки антрацита на колошник, в соответствии с которой уголь всегда грузится с первым скипом железорудного минерала, между слоями кокса и агломерата. Представлена схема распределения шихтовых материалов на колошнике печи. Приведена методика расчета расхода антрацита, на основе его взаимодействия с FeO. В дальнейшем планируется апробировать полученные результаты на реально работающих печах.

Библиографический список

1. А.с. 1686004. СССР, МКИ⁵ С 21в 3/00. Способ доменной плавки / И.В. Котельников, Н.Д. Прядка, В.И. Малкин и др. (СССР). - №4675955/02; заявл. 11.04.89; опубл. 23.10.91, Бюл. - №39.- 3 с. : ил.

2. Пат. 95107675/02 Российская федерация, С21В5/00. Способ загрузки доменной печи / ОАО "Северсталь", Московский государственный институт стали сплавов (технологический университет). -; заявл. 11.05.1995; опубл. 10.10.1997, Бюл. - №23.

3. Пат. 97104351/02 Российская федерация, С21В5/00. Способ доменной плавки / Б.М. Раковский, В.С. Романова, Н.А. Савчук. -; заявл. 20.03.97; опубл. 10.07.2000, Бюл. - №28.

4. Пат. 2002116448/02 Российская федерация, С21В5/00. Способ доменной плавки Б.М. Раковский, В.С. Романова; заявл. 20.06.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. - №16.

5. Тарасов В.П. К вопросу радиального распределения материалов и газов в доменной печи / В.П. Тарасов // Сталь. – 2003. – № 6 – С. 31-35.

6. Бабарыкин Н.Н. Свойства шихтовых материалов и их распределение на колошнике / Н.Н. Бабарыкин.- Магнитогорск: МГМИ, 1994. - 124с.

7. Ковшов В.И. Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи / В.И. Ковшов, В.А. Петренко.- Днепрпетровск: 1996 г.

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