



Определение рациональных параметров обжига окатышей с твёрдым топливом на конвейерной машине

М. Н. Бойко¹⁾

¹⁾ *Национальная металлургическая академия Украины, проспект Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Украина, 49600*

Article info:

Paper received:

26 October 2015

The final version of the paper received:

26 October 2015

Paper accepted online:

10 December 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ maximboyko@i.ua

Рассмотрены вопросы использования твёрдого топлива для обжига окатышей на конвейерной машине, что позволяет снизить расход природного газа на обжиг и улучшить качество окатышей. Целью работы является определение рационального содержания углерода в окатышах для выравнивания их прочности по высоте слоя. Данный анализ проводился с использованием математической модели обжига окатышей. Установлено, что добавление до 1 % твердого топлива может значительно снизить перепад температур по высоте слоя, что повышает равномерность тепловой обработки окатышей. Дальнейшее повышение содержания твёрдого топлива требует дополнительных технологических мероприятий.

Ключевые слова: железорудные окатыши, тепловая обработка, твёрдое топливо, прочность окатышей.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При обжиге окатышей на конвейерной машине нагрев производится за счёт сжигания газа над слоем, что вызывает неравномерный прогрев окатышей по высоте слоя и, как следствие, их различную прочность. Более равномерная тепловая обработка слоя по высоте возможна при использовании комбинированного топлива – твёрдого, добавляемого в шихту, и газообразного или жидкого, сжигаемого над слоем [1].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями [2, 3] установлено, что добавление твердого топлива в шихту позволяет снизить удельный расход природного газа, повысить прочность окатышей и уменьшить выход мелочи в спеченном продукте.

Закономерности горения твёрдого топлива в слое кускового материала, изученные при спекании агломерата, применимы для слоя окатышей с учётом его особенностей – большего размера гранул, большего диффузионного сопротивления, если топливо находится внутри окатыша, меньшей крупности топлива. Недостаточная концентрация кислорода и снижение температуры продуктов горения при нагреве ими окатышей мешают интенсивному горению топлива во всём объёме слоя. Твёрдое топливо горит в слое толщиной 100 – 180 мм, что значительно

больше, чем при агломерации. Это обеспечивает лучшее использование углерода и уменьшает концентрацию CO в отходящих газах [4].

Также следует отметить, что при добавках твердого топлива в шихту как для гематитовых, так и магнетитовых окатышей развиваются окислительно-восстановительные процессы. Степень их развития зависит от содержания углерода в шихте, положения окатыша по высоте слоя и расстояния по сечению окатыша [5]. На поверхности окатышей по всей высоте их слоя происходит горение углерода в токе окислительного теплоносителя. В магнетитовых окатышах, кроме горения топлива на поверхности окисляется магнетит. Поскольку концентрация CO на поверхности окатыша невелика, восстановления Fe_3O_4 не происходит. В центре окатыша восстановительные процессы развиваются в большей степени. Таким образом, за счет горения углерода твердого топлива выделяется теплота в основном на поверхности окатыша, и значительное её количество газовым потоком передаётся нижележащим слоям.

ВЫДЕЛЕНИЕ НЕРЕШЕННЫХ РАНЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОБЛЕМЫ

Определённые трудности при использовании твёрдого топлива в шихте для производства окатышей вызывает вероятность образования при обжиге на конвейерной машине спёков в нижних горизонтах слоя при локальном избытке тепла и образовании

большого количества расплава. В результате этого снижаются качество обожженного продукта и производительность обжиговой машины.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является определение по результатам моделирования рационального содержания углерода в окатышах для выравнивания их прочности по высоте слоя.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В Национальной металлургической академии Украины на кафедре металлургии чугуна разработан математическая модель процесса обжига углеродсодержащих окатышей на конвейерной машине [6]. Модель включает описание реальных физико-химических и тепловых механизмов, вовлеченных в процесс обжига окатышей. Расчет параметров в этой системе основан на кинетических уравнениях и анализируется с позиций кинетики. Для случая топохимического реагирования расчет массопереноса основан на химическом взаимодействии и диффузии газового компонента в пограничной пленке и через пористый слой продукта реагирования.

Для определения прочности обожженных окатышей на сжатие разработана математическая модель, использующая частные подмодели для определения влияния на процесс упрочнения: химического состава исходных окатышей – через использование показателей основности, глиноземистого и магниеземного индексов; динамики нагрева окатышей; температурного режима обжига; размера окатышей.

При моделировании использовали следующие начальные условия: высота слоя окатышей 400 мм, диаметр окатышей 15 мм, основность окатышей 0,6, содержание в окатышах: кремнезёма 5,3 %, глинозема 1,9 %, магнезии 1,3 %,

В ходе предварительного моделирования установлено, что добавление твёрдого топлива в шихту может значительно сократить перепад температур по высоте слоя, однако при содержании углерода в окатышах более 1 % максимальная температура окатышей нижнего слоя превышает таковую для верхнего слоя за счет регенерации теплоты. Поэтому превышение содержания углерода более 1 % повышает неравномерность температуры окатышей. Углерод верхней части слоя почти полностью окисляется в зоне обжига, и теплота от его окисления используется для нагрева окатышей нижележащих горизонтов. При этом отмечено, что с увеличением содержания углерода в окатышах нагрев слоя принимает вид тепловой волны. С увеличением содержания углерода максимум температур слоя располагается на более низких горизонтах слоя. При увеличении количества углерода в слое его окисление происходит менее равномерно по высоте слоя, высота зоны интенсивного горения сокращается.

Результаты распределения прочности обожженных окатышей по высоте слоя для содержания углерода 0; 0,5; 1 и 1,5 % соответственно представлены на рисунке 1.

При обжиге углеродсодержащих окатышей температуру газов в зоне обжига необходимо снизить до уровня, чтобы окатыши нижних горизонтов слоя не нагрелись выше требуемой температуры обжига. Для указанных содержаний углерода температура газа-теплоносителя составляла 1280, 1200, 1100, 1000 °С. В результате этого при добавлении углерода прочность обожженных окатышей нижних слоев выше, чем верхних.

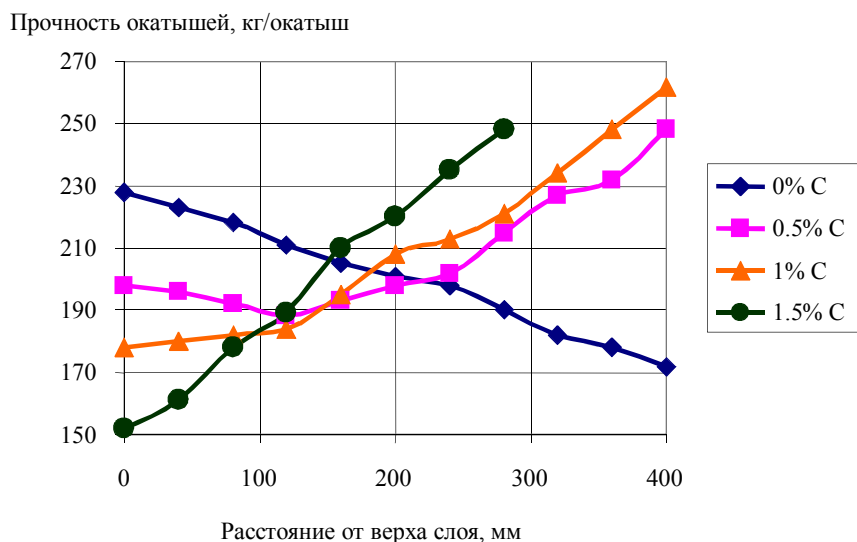


Рисунок 1 – Изменение конечной прочности окатышей по высоте слоя в зависимости от содержания углерода

При увеличении расхода твёрдого топлива (до 1,5 %) получить равномерно хорошее качество окатышей по высоте слоя не представляется возможным. В связи с большим накоплением теплоты в нижней части слоя температуру газа в зоне обжига требуется значительно снизить, при этом окатыши верхней части слоя будут обжигаться при заниженных температурах и, как следствие, приобретут низкую прочность. В то же время окатыши, расположенные в нижних горизонтах, получают избыток теплоты и переоплавятся, что ухудшит их качество.

При расходе твердого топлива 0,5 % достигается выравнивание конечной прочности окатышей по высоте слоя за счет более равномерной тепловой обработки. При этом температура в зоне обжига снижена с 1280 до 1200 °С, за счёт чего достигается экономия природного газа. А при повышении расхода твёрдого топлива до 1 % температура газа в горне зоны обжига снижена до 1000 °С для предотвращения перегрева окатышей низа слоя, при этом ока-

тыши верха слоя недополучают теплоту, что снизит их прочность. Возможным путём решения данной проблемы является использование в конструкции конвейерной машины последовательно двух зон обжига: первая зона с повышенной температурой газотеплоносителя для создания необходимых условий для упрочнения верха слоя и вторая - с пониженной температурой и повышенным содержанием кислорода для улучшения горения твёрдого топлива.

На рисунке 2 показано влияние добавки твердого топлива на максимальную, минимальную и средневзвешенную прочность окатышей. Видно, что с увеличением добавки твердого топлива до 0,5 % минимальная прочность окатышей достигает максимума, что связано с более равномерной тепловой обработкой слоя. Также при данном расходе твердого топлива достигается максимальная производительность (рис. 3), так как создаются хорошие условия для тепловой обработки окатышей и для достижения заданной прочности требуется меньшее время.

Прочность окатышей, кг/окатыш

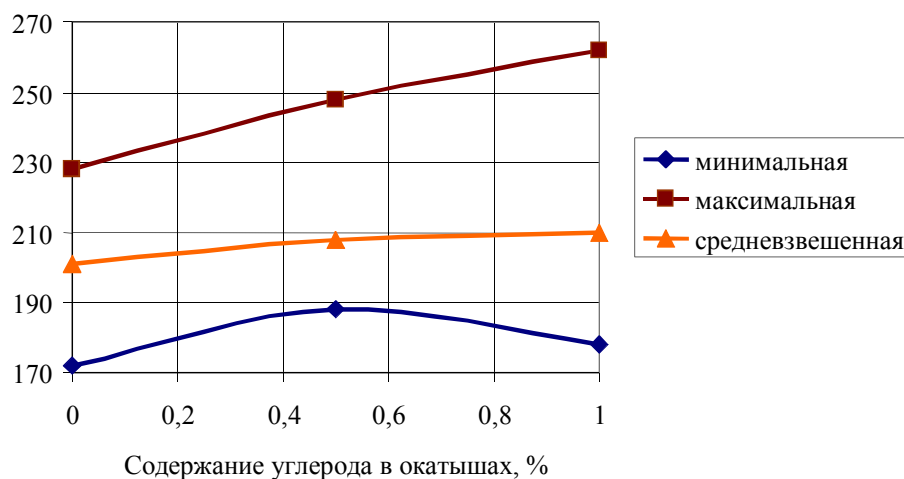


Рисунок 2 – Влияние добавки твердого топлива на прочность окатышей.

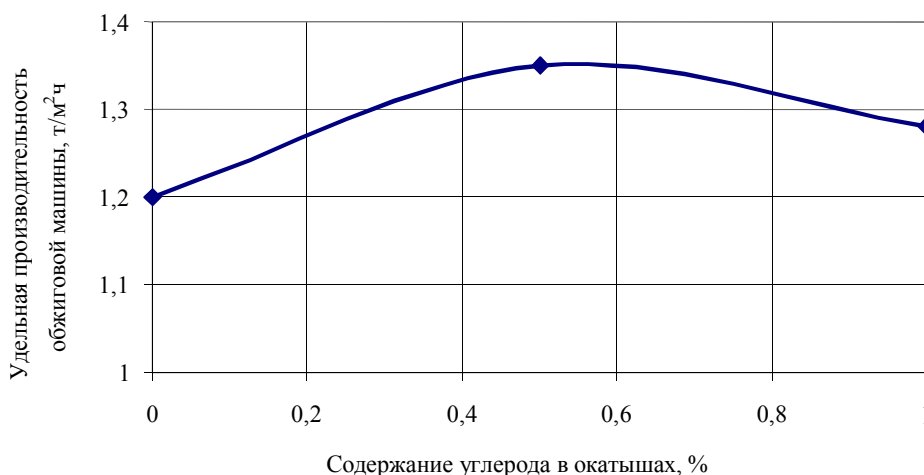


Рисунок 3 – Влияние добавки твердого топлива на производительность обжиговой машины

При повышении содержания твердого топлива до 1 % средняя прочность окатышей сохраняется на том же уровне, что и при 0,5 % топлива, а производительность несколько падает, что связано со снижением температуры теплоносителя в горне зоны обжига, и для достижения заданной прочности окатышей верха слоя требуется большее время.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования на модели установлено, что добавление твердого топлива в шихту может значительно снизить перепад температур по высоте слоя, что повышает равномерность тепловой обработки окатышей.

Установлено, что при увеличении расхода твердого топлива более 1 % получить равномерно хорошее качество окатышей по высоте слоя не представ-

ляется возможным. В связи с большим накоплением теплоты в нижней части слоя температуру газа в зоне обжига требуется значительно снизить, при этом окатыши верха слоя будут обжигаться при заниженных температурах. Для анализа возможности увеличения количества твердого топлива планируется исследование двухзонного обжига с различной температурой газа-теплоносителя по зонам.

Determine the Rational Parameters of Burning Pellets with Solid Fuel on the Conveyor Machine

М. Н. Бойко¹⁾

¹⁾ *National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarina avenue, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600*

Issues of using solid fuel for burning pellets on a conveyor machine were considered. Its use can reduce the consumption of natural gas in the burning and improve the quality of pellets. The aim is to define rational carbon content in the pellets for alignment their strength adjustment height layer. The analysis was carried out using a mathematical model of burning pellets. The addition of up to 1% of a solid fuel can significantly reduce the temperature difference adjustment height layer. This improves the uniformity of the heat treatment of pellets. Further increasing the content of a solid fuel requires additional technological measures.

Keywords: iron ore pellets, heat treatment, solid fuel, the strength of the pellets.

Визначення раціональних параметрів відпалу котунів із твердим паливом на конвеєрній машині

М. М. Бойко¹⁾

¹⁾ *Національна металургійна академія України, проспект Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600*

Розглянуто питання використання твердого палива для відпалу котунів на конвеєрній машині, що дозволяє знизити витрати природного газу на випал і поліпшити якість котунів. Метою роботи є визначення раціонального вмісту вуглецю в котунах для вирівнювання їх міцності по висоті шару. Аналіз проводився із використанням математичної моделі відпалу котунів. Встановлено, що додавання до 1 % твердого палива може значно знизити перепад температур по висоті шару, що підвищує рівномірність теплової обробки котунів. Подальше підвищення вмісту твердого палива вимагає додаткових технологічних заходів.

Ключові слова: залізородні котуни, тепла обробка, тверде паливо, міцність котунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ягольник М. В. Исследование термической обработки рудно-угольных окатышей применительно к условиям конвейерной обжиговой машины / М. В. Ягольник, В. П. Мовчан, Н. Д. Ванюкова // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 2. – С. 3-9.

2. Евстюгин С. Н. О применении твердого топлива на обжиговых машинах / С. Н. Евстюгин, В. И. Клейн, В. В. Брагин // Сталь. – 2009. – № 8. – С. 8 - 11.

3. Чернега Д. Ф. Дослідження процесу спікання залізородних котунів із підвищеним вмістом твердого палива / Д. Ф. Чернега, В. М. Нецадим, П. Д. Кудь, Д. В. Іванченко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2013. – № 2. – С. 124 - 128.

4. Бережний М. М. Збагачення та окискування сировини / М. М. Бережний, В. П. Мовчан; за ред. М. М. Бережного. - Кривий Ріг : ЦГЗК, 2000. – 368 с.

5. Ковалев Д. А. Физико-химическая модель обжига железорудных окатышей в смеси с твердым топливом / Д. А. Ковалев, В. П. Мовчан // Теория и практика металлургии. – 2003. – № 3. – С. 12 - 16.

REFERENCES

1. Yagolnik, M. V., Movchan, V. P. & Vanyukova, N. D. (2004). Issledovanie termicheskoy obrabotki rudno ugolnyh okatyshej primenitelno k usloviyam konvejernoj obzhigovoj mashiny [Investigation of thermal processing of ore-coal pellets with respect to the conditions of the conveyor burning machine]. Teoriya i praktika metallurgii. – Theory and practice of metallurgy, 2, 3 - 9 [in Russian].

2. Evstyugin, S. N., Klejn, V. I. & Bragin, V. V. (2009) O primeneni tverdogo topliva na obzhigovyh mashinah [On the application of solid fuel in the burning machines]. Stal –Steel , 8, 8-11[in Russian].

3. Chernega, D. F., Neshchadim, V. M., Kud, P. D. & Ivanchenko, D. V. (2013). Doslidzhennya procesu spikannya zalizorudnyh kotuniv z pidvyshchenym vmistom tverdogo palyva [Investigation of the process of sintering of iron ore pellets with a high content of solid fuels]. Naukovi vist Nacionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukrainy “Kiiivskij politekhnichnyj institut” – Scientific News National Technical

6. Ковалёв Д. А. Разработка динамической математической модели для управления обжигом углеродсодержащих железорудных окатышей / Д. А. Ковалёв, Н. Д. Ванюкова, М. Н. Бойко // Системні технології. – 2008. – № 1.– С. 93 - 102.

University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2, 124 - 128 [in Ukrainian].

4. Berezhnij, M.M. (2000). Zbagachennya ta okyskuvannya sировини [Enrichment and agglomeration of raw material].M.M. Berezhnij (Ed.), Krivij Rig: TSGZK [in Russian].

5. Kovalev, D. A. & Movchan, V. P. (2003) Fiziko himicheskaya model obzhiga zhelezorudnyh okatyshej v smesi s tverdyim toplivom [Physico-chemical model of burning of iron ore pellets in admixture with solid fuel]. Teoriya i praktika metallurgii. – Theory and practice of metallurgy, 3, 12 - 16 [in Russian].

6. Kovalyov D. A., Vanyukova N. D., Boyko M. N. (2008) Razrabotka dinamicheskoy matematicheskoy modeli dlya upravleniya obzhigom uglerodsoderzhashchih zhelezorudnyh okatyshej [Development of a dynamic mathematical model to control burning of iron ore pellets with carbon]. Sistemni tehnologii – Systemic technologies, 1, 93 - 102 [in Russian].