МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.261.3/669.162.262.5

ВЫЯВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НАБОРА КОМПОНЕНТОВ СЫРЬЯ В БУНКЕР БЗУ ЛОТКОВОГО ТИПА ФИЗИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Сибагатуллин С.К., Харченко А.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. На физической модели БЗУ лоткового типа исследовали действующие режимы односкиповой загрузки компонентов сырьевых материалов в шихтовый бункер доменной печи ОАО «ММК». Рассмотрели влияние изменения последовательности набора материалов в бункер на равномерность их поступления в колошниковое пространство при содержании 30% окатышей в железорудной части шихты. Выявили, что наиболее рациональным в существующих условиях является следующая последовательность набора материалов в бункер: на дно 17% агломерата от его расхода, затем окатыши, коксовый орешек, руда и оставшееся количество агломерата.

***Ключевые слова*:** доменная печь, БЗУ лоткового типа, шихта, окружное распределение, агломерат, окатыши, руда, коксовый орешек.

Введение

Режим загрузки шихтовых материалов в колошниковое пространство печи относится к основным средствам организации хода доменного процесса. Для интенсивного протекания его с низким удельным расходом кокса необходимо обеспечивать равномерное окружное и оптимальное по радиусу колошника распределение материалов. Поскольку шихта доменных печей является многокомпонентной, в сырьевой части которой помимо агломерата и окатышей могут присутствовать кварцит, известняк, железная и марганцевая руды, коксовый орешек или коксовая фракция, возникают сложности в обеспечении равномерного окружного распределения материалов [1, 2]. Особенно они проявляются на доменных печах, оснащенных компактным бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) лоткового типа. В связи с этим градиент температур по периферии зачастую выше, чем на печах с конусным загрузочным устройством. Такой режим может сопровождаться ухудшением показателей хода доменного процесса [3]. Расположение коксового орешка вблизи с агломератом или окатышами изменяет скорость и степень восстановления железорудных материалов [4, 5]. Концентрация орешка в определенном секторе колошника затрудняет его расходование на реакции прямого восстановления, что приводит к снижению фильтрующей способности кокса в горне печи [6–8]. Неравномерное распределение промывочных материалов или состава сырья в целом является причиной точечного воздействия на состояние горна, неравномерности в количестве и свойствах чугуна и шлака по окружности, нарушений в движении потоков шихты и газа.

Расположение новых порций материалов на поверхности засыпи зависит от угла наклона и скорости вращения лотка, траектории движения их от лотка до поверхности ранее сформировавшегося слоя, количества и последовательности поступления компонентов из шихтового бункера по наименованиям и крупности, поведения материалов на поверхности слоя шихты после загрузки [9, 10]. При этом последовательность набора компонентов сырья в шихтовый бункер [1, 2, 11] относится к определяющим факторам.

Предложено несколько способов определения рационального размещения материалов в шихтовом бункере. Авторы работы [1] получили детерминированную математическую модель. В работе [11] предлагается метод построения математической модели формирования порции в шихтовом бункере и истечения ее в колошниковое пространство печи проведением экспериментов с использованием импульсных электромагнитных датчиков, которые возбуждают им-

пульсные вихревые токи в железорудном сырье и измеряют вторичное электромагнитное поле. Имеются расчеты траектории движения шихтовых материалов на поверхность засыпи [12].

Для решения задачи улучшения работы печи повышением равномерности окружного распределения шихтовых материалов лотковым загрузочным устройством необходимо дополнение и уточнение физическим моделированием результатов, полученных в вышерассмотренных работах.

Физическое моделирование

Для выявления рационального режима набора компонентов сырья в доменные печи ОАО «ММК» провели ряд экспериментов на лабораторной установке однотрактового компактного загрузочного устройства лоткового типа **(рис. 1)**. Размеры модели пропорционально уменьшены в 5 раз по отношению к линейным размерам компактного БЗУ доменных печей.

Моделировали применительно к доменной печи объемом 1370 м^3 ОАО «ММК» существующие режимы односкиповой загрузки железорудной части шихты в бункер БЗУ, содержащей следующие компоненты, %: агломерат – 70, окатыши – 30; добавки (железная руда и коксовый орешек) – 2, дополнительно к агломерату и окатышам.

Рис. 1. Физическая модель однотрактового компактного загрузочного устройства лоткового типа

В серии опытов № 1 исследовали режимы загрузки материалов «добавки на дно скипа». В опытах компоненты шихты размещали в бункере в следующей последовательности: вниз помещали агломерат, после чего коксовый орешек, окатыши, затем руду. Получаемое после открытия шихтового затвора содержание материалов по видам в процессе выпуска их из бункера приведено на **рис 2, 3**.

Видно, что первая порция была сформирована из одного агломерата. Оставшиеся порции содержали от 50 до 70% агломерата и от 30 до 50% окатышей. Максимальное количество железной руды наблюдали в порциях № 2 и 3, хотя её загружали в бункер последней. Максимальное количество коксового орешка, размещенного в бункере после агломерата, наблюдали в конце выпуска. Это соответствует закономерностям формирования эллипсоидов выпуска и разрыхления. Первыми шихтовый бункер покидали частицы, расположенные над выпускным отверстием, образуя воронку и эллипсоид выпуска. В остальной части бункера в движение вовлекались материалы, находящиеся в зоне эллипсоида разрыхления. Образование его позволяет компонентам с наиболее высокой плотностью и крупностью перемещаться сверху вниз интенсивнее по сравнению с остальными. Коксовый орешек может отставать. Такая последовательность выпуска материалов из бункера БЗУ обеспечила среднюю величину среднеквадратического отклонения содержания компонентов в порциях, отобранных по ходу выпуска, равную 9,1% (см. **таблицу**).

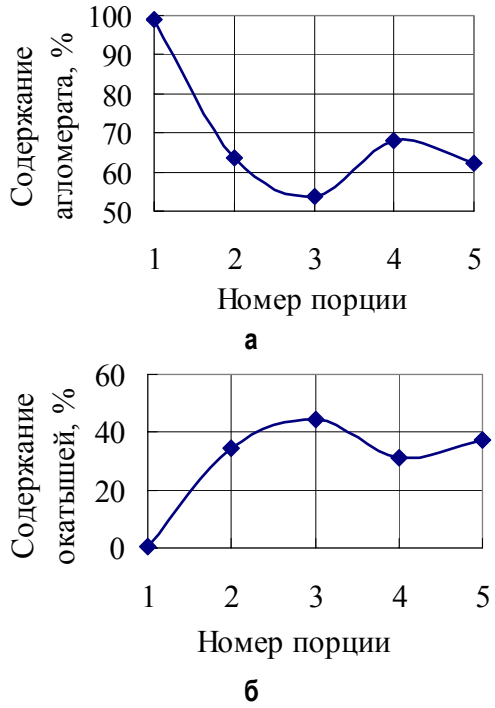
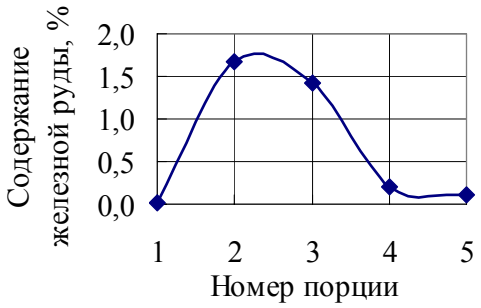
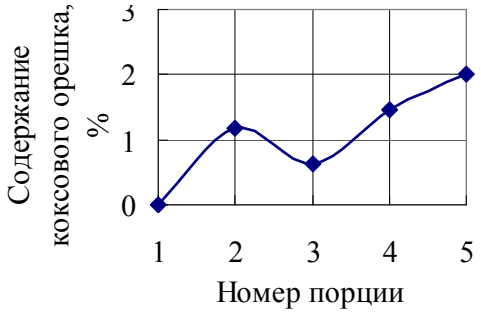


Рис. 2. Содержание агломерата (а) и окатышей (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 1



а



б

Рис. 3. Содержание железной руды (а) и коксового орешка (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 1

Режим загрузки материалов «добавки наверх скипа» моделировали в серии опытов № 2. Последовательность расположения компонентов шихты была следующей: на дно бункера БЗУ помещали коксовый орешек, затем окатыши, следом руду и агломерат. Среднеквадратическое отклонение содержания материалов по порциям, отобранным по ходу выпуска в серии опытов № 2, составило 19,4% (см. **таблицу**), что выше аналогичной величины, полученной в серии опытов № 1. В серии опытов № 2 компоненты поступали на лоток БЗУ менее равномерно, на что указывают зависимости на **рис. 4, 5**.

Расположение окатышей в нижней части бункера БЗУ после небольшого количества коксового орешка обеспечило высокое их содержание (более 90%) в порции № 1. По ходу выпуска увеличивалась доля агломерата в каждой из порций и снижалась доля окатышей.

Применение на печи матрицы, предусматривающей движение лотка в направлении от периферии к центру при спиральном режиме загрузки материалов в условиях расположения неофлюсованных окатышей в нижней части бункера, может приводить к ускоренному износу футеровки печи или к ускоренной ликвидации ранее сформировавшейся настыли.

Поступление коксового орешка на лоток БЗУ в начальный момент времени при использовании матрицы загрузки, предусматривающей начало высыпания порции материалов на станцию углового положения лотка № 11 или 10 и окончание на станции № 9, не обеспечит его расположения в рудном гребне.

Среднеквадратическое отклонение содержания компонентов сырья в порциях, отобранных по ходу выпуска

Последовательность расположения материалов в бункере БЗУ сверху вниз	Среднеквадратическое отклонение по видам материалов, %				
	агломерат	окатыши	руда	коксовый орешек	среднеарифметическое значение
– руда – окатыши – орешек – агломерат	17,4	17	1	0,8	9,1
– агломерат – руда – окатыши – орешек	37,5	36,9	0,6	2,7	19,4
– руда – орешек – окатыши 65% от их расхода – агломерат 75% от его расхода – окатыши 35% от их расхода – агломерат 25% от его расхода	9,4	9,8	1,1	1,2	5,4
– агломерат 83% от его расхода – руда – орешек – окатыши – агломерат 17%	13,9	13,5	0,6	0,7	7,2

В серии опытов № 3 исследовали режимы загрузки материалов в скип «вперемешку». Моделирование одного из них обеспечило следующее расположение их в бункере: на дне 25% агломерата от общего его расхода, затем 35% окатышей от общего их расхода, после чего оставшееся количество агломерата и окатышей. Последними в бункер поступали коксовый орешек и руда. Содержание компонентов сырья в порциях по ходу выпуска приведено на **рис. 6, 7**.

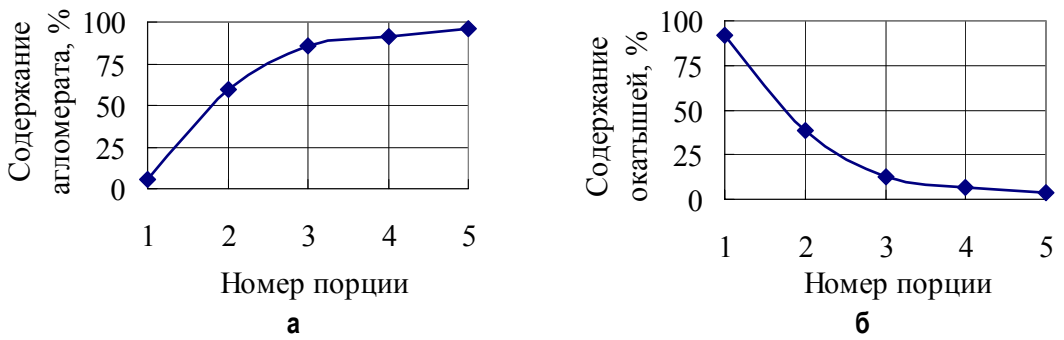


Рис. 4. Содержание агломерата (а) и окатышей (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 2

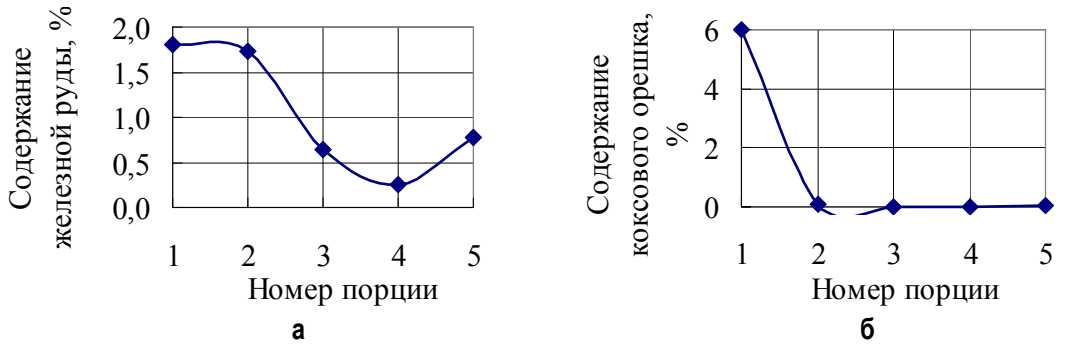


Рис. 5. Содержание железной руды (а) и коксового орешка (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 2

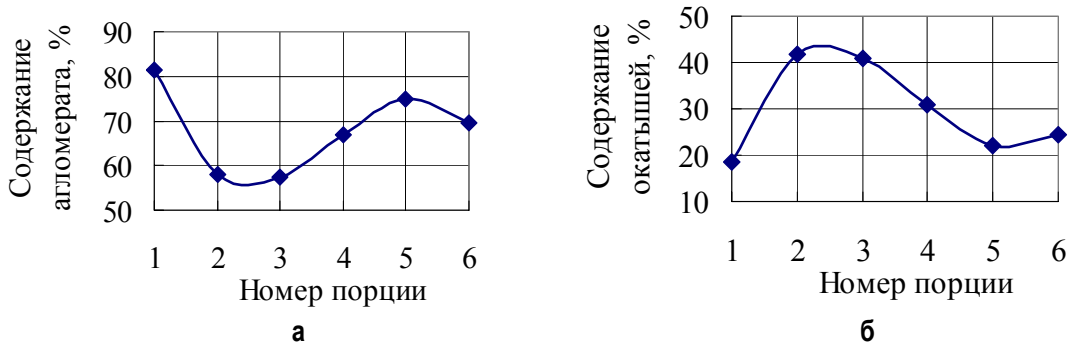


Рис. 6. Содержание агломерата (а) и окатышей (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 3

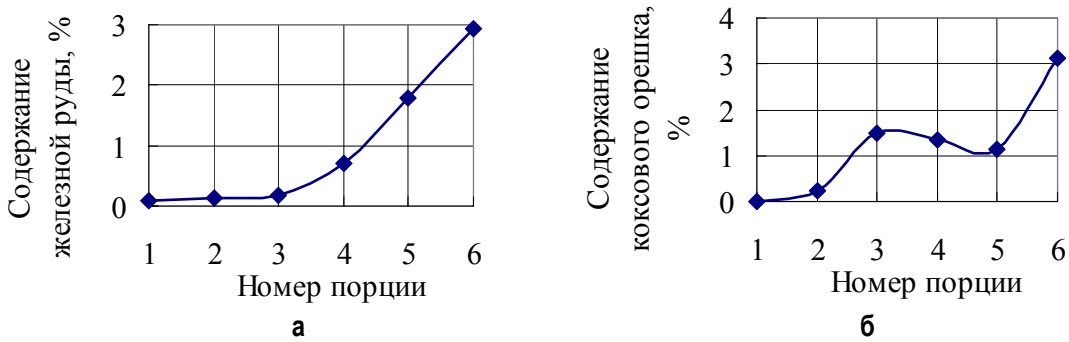
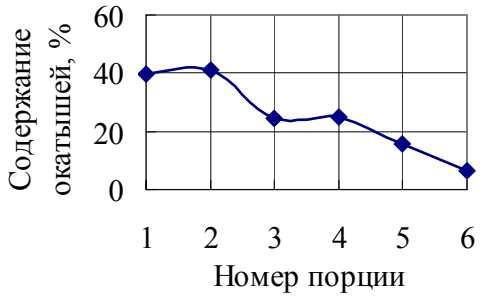


Рис. 7. Содержание железной руды (а) и коксового орешка (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 3

Из анализа зависимостей, приведенных на **рис. 6, 7**, и данных, представленных в таблице, следует, что режим «вперемешку» обеспечивает более высокую равномерность поступления агломерата и окатышей из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи. Среднеквадратическое отклонение содержания агломерата и окатышей в порциях, отобранных по ходу выпуска, соответственно составили 9,4 и 9,8%.

Загрузка железной руды и коксового орешка в бункер последними не обеспечивает равномерное их поступление, что может отрицательно сказаться на дренажной способности кокса в горне печи. В этом случае предпочтительным будет использование следующей последовательности набора материалов в бункер БЗУ: на дно 17% агломерата от его расхода, затем окатыши, коксовый орешек, руда и оставшееся количество агломерата. Сформировать такой слой можно использованием модернизированного режима «добавки наверх скипа». Содержание агломерата и окатышей в порциях по ходу выпуска в серии опытов № 4, соответствующей такому режиму, приведено на **рис 8, 9**.

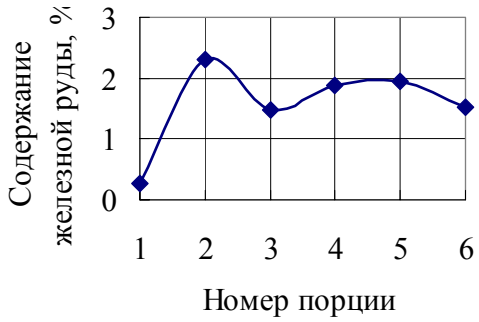
а



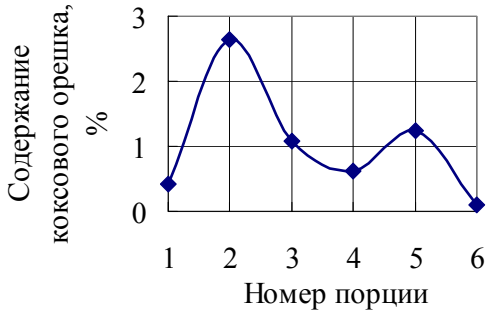
б

Рис. 8. Содержание агломерата (а) и окатышей (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 4

Поскольку при проведении опытов было соблюдено равенство критерия Ньютона для печи и модели, то каждый один оборот вращения лотка на печи соответствует выпуску материалов в двух последующих порциях модели. При использовании матрицы, предусматривающей спиральный режим загрузки сырьевых материалов на три станции углового положения лотка, использование режима, описанного в серии опытов №4, обеспечит повышенную равномерность распределения по видам в каждой из трех кольцевых зон колошника.



а



б

Рис. 9. Содержание железной руды (а) и коксового орешка (б) по мере истечения их из шихтового бункера в серии опытов № 4

Заключение

Физическим моделированием существующих режимов односиповой загрузки материалов в бункер бесконусного загрузочного устройства лоткового типа на модели, изготовленной в масштабе 1:5 по отношению к реальному устройству, выявлена рациональная последовательность набора компонентов сырья в бункер при содержании в нём 30% окатышей. Низкую величину среднеквадратического отклонения содержания каждого из компонентов в порциях по ходу выпуска обеспечивала следующая последовательность расположения их в бункере: на дно 17% агломерата от его расхода, затем окатыши, коксовый орешек, руда и оставшееся количество агломерата. Такой режим целесообразен для улучшения использования энергии газов повышением равномерности распределения материалов по окружности колошника доменной печи.

Список литературы

1. Анализ особенностей формирования порций и истечения материалов из бункера БЗУ при загрузке шихты / Пыхтеева К.Б., Загайнов С.А., Тлеугабулов Б.С., Филиппов В.В., Журавлев Д.Л., Николаев Ф.П. // Сталь. 2008. № 6. С. 14–19.
2. Влияние различных факторов на равномерность распределения коксового орешка в колошниковом пространстве доменной печи, оснащенной БЗУ лоткового типа / А.С. Харченко, С.К. Сибагатуллин, Е.О. Теплых, Гущин Д.Н. // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. трудов. № 10. Магнитогорск, 2010. С. 33–38.
3. Сибагатуллин С.К. Оптимальная степень прямого восстановления железа из оксидов // Сталь. 1997. № 4. С. 1–5.
4. Mousa E., Senk D., Babich A. Reduction of Pellets-Nut Coke Mixture under Simulating Blast Furnace Conditions // Steel Research International. 2010. Vol. 81. Iss. 9. P. 706–715.
5. Mousa E., Senk D., Babich A. Einfluss von Brechkoks auf das Reduktionsverhalten von Eisenerzsinter / Tagungsband zum 24. Aachener Stahlkolloquium Metallurgie, "Rohstoffe-Werkstoffe-Gesellschaft", 17-18.09.2009, Aachen. Aachen: Mainz, 2009. P. 67–77.
6. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи / Сибагатуллин С.К., Харченко А.С., Чевычелов А.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4. С. 28–30.
7. Результаты совместного использования в доменной печи коксового орешка с одновременным улучшением качества скипового кокса / Сибагатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 24–27.
8. Логические основы распознавания вида отклонения доменной плавки от нормального режима / Онорин О.П., Спирин Н.А., Павлов А.В., Лавров В.В. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 8. С. 42–47.
9. Сибагатуллин С.К. Формирование слоя шихты в колошниковом пространстве доменной печи. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 188 с.
10. Зависимость равномерности поступления агломерата и окатышей в колошниковое пространство печи от последовательности размещения их в бункере БЗУ / Сибагатуллин С.К., Теплых Е.О., Харченко А.С. и др. // Теория и технология металлургического производства. 2012. № 12. С. 16–21.
11. Воронцов В.В., Степанов А.Т. К вопросу о распределении шихтовых материалов по окружности колошника доменной печи // Вестник Череповецкого государственного университета. 2010. № 1. С. 129–133.
12. Предпусковые исследования загрузки и распределения шихты в доменной печи большого объема / Большаков В.И., Богачев Ю.А. Вишняков В.И. и др. // Черная металлургия. Бюл. НТЭИ. 2008. № 6. С. 14–19.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IDENTIFICATION OF AN EFFICIENT SEQUENCE OF CHARGING COMPONENTS OF RAW MATERIALS INTO THE HOPPER OF THE BELL-LESS CHARGING DEVICE OF A CHUTE TYPE BY PHYSICAL MODELING

Sibagatullin Salavat Kamillovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 30. E-mail: 10skt@mail.ru.

Kharchenko Alexander Sergeevich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 30. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

Abstract. Operating modes of the single-skip loading of raw material components into the charge hopper of the blast furnace at OJSC MMK were studied on a physical model of the bell-less charging device of a chute type. The authors examined the effect of changes in the sequence of a set of materials into the hopper on the uniformity of their loading in a throat area at a content of 30% of pellets in the iron ore part of the charge. It was found that in the current circumstances the most efficient sequence of materials charged into the hopper was the following: on the bottom 17% of sinter from its consumption, then pellets, coke nuts, ore and the remaining amount of sinter.

Keywords: Blast furnace, bell-less charging device of a chute type, charge, circumferential distribution, sinter, pellets, ore, coke nut.

References

1. Pykhteeva K.B., Zagaynov S.A., Tleugabulov B.S., Filippov V.V., Zhuravlev D.L., Nikolaev F.P. Analysis of the characteristics of forming portions and discharging materials from the hopper of the bell-less charging device when loading the charge. *Stal'* [Steel]. 2008, no. 6, pp. 14-19.
2. Kharchenko A.S., Sibagatullin S.K., Teplykh E.O., Gushchin D.N. The influence of the various factors on the uniformity of the coke nut distribution in the throat area of a blast furnace equipped with the bell-less charging device of a chute type. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregional'nyj sbornik nauchnykh trudov № 10* [Theory and technology of metallurgical production. Interregional collection of scientific papers]. Magnitogorsk, 2010, no. 10, pp. 33-38.
3. Sibagatullin S.K. The optimum degree of the direct reduction of iron from oxides. *Stal'* [Steel]. 1997, no. 4, pp. 1-5.
4. Mousa E., Senk D., Babich A. Reduction of pellets-nut coke mixture under simulating blast furnace conditions. Steel Research International, 2010, vol. 81, iss. 9, pp. 706-715.
5. Mousa E., Senk D., Babich A. The effect of coke nut on the behavior of the reduction of iron ore by sinter. Proceedings of the 24th Aachen Colloquium of steel metallurgy "Raw Materials Company" 17-18.09.2009, Aachen. Aachen: Mainz, 2009, pp. 67-77.
6. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Chevychelov A.V. and others. The effect of coke nut on filtration of liquid products of melting in the blast furnace hearth. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 4, pp. 28-30.
7. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Polinov A.A. and others. The results of the joint use of coke nut in the blast furnace while improving the quality of skip coke. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 2, pp. 24-27.
8. Onorin O.P., Spirin N.A., Pavlov A.V., Lavrov V.V. and others. Logical framework of the recognition of the type of a deviation of the blast furnace smelting from a normal mode. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [News of the higher educational institutions. Ferrous metallurgy]. 2014, no. 8, pp. 42-47.

9. Sibagatullin S.K. *Formirovanie sloya shikhty v koloshnikovom prostranstve domennoj pechi* [The formation of the charge layer in the throat area of a blast furnace]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, 188 p.
10. Sibagatullin S.K., Teplykh E.O., Kharchenko A.S. and others. The dependence of the uniformity of charging sinter and pellets into the throat area of a blast furnace on the sequence of their placing in the hopper of the bell-less charging device. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [The theory and technology of steel production]. 2012, no. 12, pp. 16-21.
11. Vorontsov V.V., Stepanov A.T. On a distribution of the charge materials around the circumference of the throat of the blast furnace. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin]. 2010, no. 1, pp. 129-133.
12. Bolshakov V.I., Bogachev Yu.A., Vishnyakov V.I. and others. Prestart studies of charge loading and distribution in the blast furnace of a large volume. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' NTEHI* [Ferrous mettalurgy. Bulletin of NTEI]. 2008, no. 6, pp. 14-19.

Сибагатуллин С.К., Харченко А.С. Выявление рациональной последовательности набора компонентов сырья в бункер БЗУ лоткового типа физическим моделированием // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. С. 28–34.

Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S. Identification of an efficient sequence of charging components of raw materials into the hopper of the bell-less charging device of a chute type by physical modeling. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 3, pp. 28–34.

УДК 662.81/84

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ КОКСА

Пожидаев Ю.А., Столярова М.С., Бабинцев Я.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены способы тушения кокса, используемые установки, а также описаны особенности и недостатки каждого из них. Приведены критерии оценки эффективности тушения и проанализированы технологии изготовления кокса, что позволило выявить перспективные технологии с точки зрения экономической и экологической целесообразности.

Ключевые слова: кокс, способы тушения кокса, установка комбинированного тушения кокса с совмещением сортировки.

Введение

Коксохимическая промышленность (КХП) является одной из важнейших отраслей металлургии и обеспечивает коксом черную металлургию и ряд других отраслей промышленности, является источником разнообразных видов химического сырья, в том числе для углеграфитовых материалов и технического углерода. Путем коксования осуществляют химическую переработку каменных углей, в результате которой наряду с коксом получают высококалорийный коксовый газ, содержащий разнообразные химические продукты, являющиеся основным сырьем для многих химических производств, и особенно для продуктов органического синтеза. Цветная металлургия является потребителем малозольного пекового и связующего кокса, получаемого из каменноугольной смолы. Также к основным областям применения кокса относится выплавка чугуна (доменный кокс) – как высококачественное бездымное топливо, восстановитель железной руды, разрыхлитель шихтовых материалов. Доменный кокс должен иметь размеры кусков не менее 40 мм при ограниченном содержании кусков менее 25 мм (не более 3 %) и не более 80 мм. Такие размеры кусков связаны с тем, что доменная печь является печью шахтного типа, в которой происходит противоток отходящих газов и шихтовых материалов. Если куски кокса менее требуемого размера, то они будут удаляться из печи вместе с отходящими газами. В литейном производстве кокс используют как топливо.

Классификация способов тушения кокса

Выданный из печи готовый кокс подвергается тушению, так как он находится в раскаленном состоянии (с температурой 950–1000°С). В настоящее время известны два способа тушения кокса: мокрое и сухое.

Мокрое тушение кокса

На большинстве заводов для тушения кокса применяют фенольные воды, в которых содержатся смолы, масла, аммиак, фенолы, сероводород, роданиды, цианиды и др. При этом происходит загрязнение атмосферы вредными веществами и резкое усиление коррозии коммуникации и оборудования [1].

Мокрое тушение заключается в заливке раскаленного кокса водой. На современных коксо-