

**Висновки і подальший напрямок досліджень.** Температура повітря в підземних камерах шахт із працюючим обладнанням, зокрема у насосних підстанціях шахтного водовідливу, може значно перевищувати гранично допустимі норми (26 °С) і сягати 35-36 °С, що обумовлює створення шкідливих умов праці. Враховуючи можливість і ефективність охолодження повітря вентиляційного струменю шляхом використання адіабатичного розширення стисненого повітря, розроблено пневматичну вихрову установку «Клімат» для поліпшення теплових умов у камерах із джерелами штучних теплопритоків. Крім того, розроблено заходи щодо удосконалення схеми провітрювання у типових камерах водовідливу. Подальші дослідження будуть спрямовані на розроблення комплексної технології штучного провітрювання з урахуванням особливостей теплообміну між працюючим обладнанням і рудниковим повітрям у підземних камерах шахт.

#### *Список літератури*

1. Загальнодержавна цільова програма поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2012-2016 роки. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/889-2011-%D1%80>.
  2. Пивняк Г.Г. Пути решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса / Г.Г. Пивняк, В.А. Бойко // Горный журнал, 2012. - № 8. – С. 15-18.
  3. Щербань А.Н. Руководство по регулированию теплового режима шахт / Щербань А.Н., Кремнев О.А, Журавленко В.Я. – М. : Недра, 1977. – С. 5-10.
  4. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. – М. : Недра, 1971. – 228 с.
- Рукопис подано до редакції 17.03.14

УДК 669.162.16

Ф.М. ЖУРАВЛЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,  
Д.А. КАССИМ, И.А. ЛЯХОВА, кандидаты. техн. наук, доц., Е.В. ЧУПРИНОВ, ассистент  
КМИ Криворожский национальный университет

### **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ С ЗАКАТАНЫМ ВНУТРЬ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ**

Выбраны и испытаны реагенты для повышения гидрофильности поверхности частиц твердого топлива. Определены оптимальные расходы и продолжительность воздействия реагентов на поверхность кусочков твердого топлива для обеспечения полного закатывания всего топлива внутрь сырых окатышей. Отработаны технологические параметры процесса окомкования, позволяющие получать сырые окатыши с закатанным внутрь твердым топливом необходимого гранулометрического состава с требуемыми прочностными характеристиками.

Основной затратной статьей в себестоимости выплавки чугуна в доменных печах является удельный расход кокса [1]. В настоящее время используются технологии частичной (в большей или меньшей степени) замены металлургического кокса в доменной плавке другими видами менее дефицитных и менее дорогостоящих (твердых, жидких и газообразных) топлив.

Основными требованиями к этим топливам являются: максимально возможное содержание полезных и минимальное - вредных элементов, а также минимальное влияние на газопроницаемость столба шихты в доменной печи при их использовании.

К числу таких технологий относятся: ввод в шихту доменной плавки кускового антрацита, вдувание в фурмы доменной печи пылеугольного топлива, природного и коксового газов, а также мазута [2].

Разработаны также технологии получения окускованных железорудных материалов (агломерат и окатыши), содержащих в своем составе остаточный углерод из введенного твердого топлива, не полностью сгоревшего в них в процессе термоупрочнения.

Проводились опытные плавки с использованием этих материалов в доменной шихте, показавшие эффективность применения такого материала [3-5].

Каждая из отмеченных выше технологий имеет свои преимущества и недостатки как в подготовке топлива к вводу в доменную печь, так и в его влиянии на технико-экономические показатели доменной плавки.

Следует отметить еще раз, что ввод в доменную печь менее дорогостоящего и дефицитного твердого топлива в составе окускованного железорудного материала может быть очень перспективным при условии сохранения или улучшения металлургических характеристик этого материала.

Несомненным преимуществом такого материала является то, что в процессе его термоупрочнения он предварительно частично восстанавливается изнутри за счет газификации закапанного внутрь углерода твердого топлива, а затем при плавке восстанавливается одновременно с поверхности восстановительными газами доменной печи и из центра куска за счет газификации остаточного углерода, что ускоряет скорость восстановления всего куска и, соответственно, производительность доменной печи.

Кроме того, исключается влияние разрушения кусков угля при их термическом нагреве на газопроницаемость столба шихтовых материалов в доменной печи, так как уголь находится внутри агломерата или окатыша.

Высокотемпературная технология получения окускованного железорудного материала (агломерата или окатышей) с максимальным количеством внутри него остаточного углерода может быть осуществлена при обязательном соблюдении двух основных технологических условий: эффективным накатыванием мелких компонентов шихты на кусочки твердого топлива, являющихся зародышами, с обеспечением необходимой прочности полученных сырых комков (окатышей) и минимальным выгоранием углерода этого твердого топлива в процессе термического упрочнения и охлаждения окускованного материала в газовой атмосфере с разным окислительным потенциалом.

Кроме того, скорость выгорания твердого топлива внутри окускованного железорудного материала зависит от его реакционной способности.

Минимальную реакционную способность среди углей имеет антрацит, который и рекомендуется для закатывания внутрь железорудного материала [6].

Оптимальность соблюдения указанных технологических параметров производства окускованного материала с остаточным углеродом диктуется как возможной простотой и технологичностью параметров её осуществления, так и экономической целесообразностью процесса.

Как уже отмечалось выше, непременным первоначальным условием получения высококачественного окускованного материала с остаточным углеродом является эффективное накатывание и сцепление мелких компонентов шихты, как между собой, так и с поверхностью кусочков твердого топлива размером 1,5-10 мм, которые выполняют роль зародышей для образования прочных комков (сырых окатышей). Это может быть осуществлено за счет молекулярных и капиллярных сил сцепления, развиваемых в трехфазной среде (твердая, жидкая и газообразная фазы) только между гидрофильными материалами.

Все компоненты шихты (железорудный концентрат, флюсы и связующие добавки) в производстве окатышей являются гидрофильными материалами. Твердое топливо (антрацит) является гидрофобным материалом и на него практически не накатываются гидрофильные компоненты шихты.

Исследователями испытывались варианты предварительного покрытия кусочков антрацита крупностью 3-7 мм связующим веществом, битумом или мазутом со смесью определенных оксидов (шлак производства ферромарганца) для образования на них гидрофильной поверхности [4,7,8].

Однако, эти мероприятия существенно усложняют технологию производства окускованного материала, а некоторые вносят в его состав пустую породу, снижающую содержание железа. В литературе известны реагенты, позволяющие усиливать или изменять гидрофобность или гидрофильность поверхности минералов [9].

Для упрощения и улучшения технологии производства и снижения количества выгорающего углерода внутри окатышей были проведены испытания, которые показали возможность получения обожженных окатышей отвечающих требованиям доменной плавки с минимальным усложнением принятого промышленного использования технологии получения и термоупроч-

нения сырых окатышей, а также максимальным сохранением остаточного углерода твердого топлива в составе окатыша после его термоупрочнения и охлаждения.

Для использования в окатышах выделялся антрацит крупностью 0-10 мм, что упрощает технологию (не нужно выделять три узких фракции как в [4,7,8]: 0-3 мм, 3-7 мм и +7 мм) подготовки топлива по крупности и позволяет использовать все топливо менее 10 мм, не удаляя фракции 0-3 мм и +7 мм. В этом случае частицы крупностью 1,5-10 мм будут выполнять роль зародышей, а более мелкие – накатываются на них вместе с шихтой.

Выделенное топливо обрабатывалось водным раствором реагента-пластификатора натриевого или аммониевого лигносульфоната, который является отходом целлюлозно-бумажной промышленности. Роль этого реагента сводится к повышению гидрофильности поверхности угольных частиц при создании вокруг них гидратной оболочки толщиной не более  $(15-20)10^{-6}$  мм, что способствует накатыванию на них гидрофильных частиц офлюсованной шихты за счет молекулярных и капиллярных сил сцепления, с образованием сырых окатышей необходимого размера и прочности.

Это обеспечивается удельным расходом лигносульфоната равным 2,4-15,1 кг/т сухого угля.

Эта технологическая операция для увеличения гидрофильности поверхности частиц антрацита в лабораторных условиях осуществлялась одним из двух возможных вариантов следующим образом.

В первом варианте в емкость загружалась необходимая масса угля и сухого реагента из расчета указанного выше его удельного расхода.

Затем в емкость заливалась вода, покрывая уголь на 30-50 мм, и смесь непрерывно перемешивалась в течение 0,5-5,0 минут.

Во втором варианте предварительно изготавливался раствор реагента, концентрация которого рассчитывалась исходя из необходимого объема раствора и удельного расхода реагента на 1 т антрацита.

Затем раствор заливался в емкость с находящимся в ней антрацитом по указанным в первом варианте параметрам и непрерывно с ним перемешивался.

После этого остаток раствора реагента выпускался из емкости, а полученный антрацит с гидрофильной поверхностью дозировался в заданном соотношении с компонентами (железородный концентрат, флюс и связующее) шихты и смешивался в смесителе.

Смешанная с антрацитом шихта дозировалась в окомкователь в непрерывном режиме где получали сырые окатыши, в которых кусочки угля являлись зародышами на которые накатывалась тонкоизмельченная шихта до получения сырых окатышей требуемого диаметра, а самые мелкие частицы угля (0-1,5 мм), которые не могли быть зародышами, накатывались совместно с шихтой на зародыши и в процессе термоупрочнения окатышей газифицировались до CO и CO<sub>2</sub>, предохраняя в окислительной атмосфере углерод зародышей от выгорания.

Проведенные испытания показали, что после обработки антрацита раствором реагента (натриевого лигносульфоната) при оптимальном его удельном расходе, в процессе получения сырых окатышей в чашевом окомкователе, при одинаковой его производительности и при практически одинаковой влажности полученных сырых окатышей, количество годной фракции (8-20 мм) в сырых окатышах с закатынным антрацитом составило 92,3-94,1 %, а их прочностные характеристики практически были аналогичны сырым окатышам без твердого топлива (табл. опыты 1 и 6-8).

При этом, практически все твердое топливо закатывалось внутрь окатышей.

При использовании же в шихте антрацита, не обработанного лигносульфонатом, в окатыши закатывалось всего 32,8 % кусочков антрацита, а их прочностные характеристики были ниже (табл. 1, опыт 2) [10].

Исходя из результатов испытаний определены оптимальные значения удельного расхода реагента для обработки антрацита, позволяющего изменить его гидрофобную поверхность на

гидрофильную и накатывания шихты на все его кусочки для получения сырых окатышей, пригодных к последующему термоупрочнению.

Таблица 1

Параметры получения сырых окатышей с закатанным внутрь твердым топливом

Показатели окомкования	По техно- логии [8]	Варианты отработки технологии							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность окомкователя, т/ч	–	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Крупность антрацита, мм	3-7	0	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
Используемый реагент	битум	натриевый лигносульфонат							
Удельный расход реагента, кг/ т антрацита	25-40	0	0	1,3	2,4	8,6	12,4	15,1	18,3
Продолжительность выдержки антрацита с реагентом, мин	–	0	0	6,4	3,6	5,1	0,5	1,4	4,3
Содержание углерода в шихте, %	–	0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Массовая доля влаги в сырых окатышах, %	–	,1	8,6	8,7	8,5	8,8	8,6	8,5	8,4
Количество годного класса (8-20мм) в сырых окатышах, %	–	92,4	74,7	83,1	92,3	93,5	92,8	94,1	93,7
Количество закатанных в окатыши кусочков антрацита, %	100	0	32,8	68,6	99,4	99,8	100	100	100
Прочность на сжатие сырых окатышей, кг/ок	–	1,2	0,8	1,0	1,1	,2	1,3	1,2	1,2
Прочность на удар сырых окатышей, раз	–	5,8	4,1	5,2	5,5	5,7	5,6	5,7	5,8

Таким образом, отработаны технологические параметры изменения гидрофобной поверхности антрацита на гидрофильную и режимы получения сырых окатышей необходимых гранулометрического состава и прочностных характеристик для последующего их термоупрочнения.

#### Список литературы

1. *Металлургия чугуна: Учебник для вузов / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др.* – М.: ИКЦ “Академкнига”, 2004. – 774 с.
2. *Коксозамещающие технологии в доменной плавке / В.П. Лялюк, И.Г. Товаровский, Д.А. Демчук и др.* – Днепропетровск: Пороги, 2006. – 276 с.
3. *Получение прочных при восстановлении руднотопливных окатышей из качканарских концентратов / А.Л. Ефимов, Л.И. Леонтьев, С.В. Шаврин и др.* // Бюллетень ин-та “Черметинформация”. – 1973. – №8. – С. 18-20.
4. А.с. СССР №1188217. Способ производства агломерата / Г.Г. Ефименко, С.П. Ефимов, Б.В. Кушнарв и др. – 1985. – Бюл. №40.
5. *Использование опытных железорудных офлюсованных окатышей с остаточным углеродом в доменной плавке / Д.А. Ковалев, Ф.М. Журавлев, Н.Д. Ванюкова и др.* // Сталь. – 1999. – №8. – С. 4-9.
6. *Исследование процесса металлизации рудоугольных окатышей / С.Т. Ростовцев, Г.В. Губин, В.Ф. Авдеев и др.* // Труды института Уралмеханобр. Окускование железных руд и концентратов. – Свердловск. – 1975. – С. 70-77.
7. А.с. СССР №1602878. Способ получения углеродсодержащих железорудных материалов / М.З. Рогинский, Н.А. Гладков, М.Д. Жембус и др. – 1990. – Бюл. №40.
8. А.с. СССР №1617021. Способ получения железорудных окатышей с остаточным углеродом / М.З. Рогинский, М.Д. Жембус, С.Г. Шаранов. – 1990. – Бюл. №48.
9. *Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К.* Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. Книга 1. – М.: Недра, 1990. – 376 с.
10. Патент України № 94772. Спосіб виробництва обпалених обкотишів із залишковим вуглицем / Ф.М. Журавлев, В.П.Лялюк., І.А.Ляхова, та інші. – 2014. – Бюл. №22.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.14