

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ ПРИ ВДУВАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПЕРЕМЕННЫХ ШИХТОВЫХ УСЛОВИЯХ

*А. С. НЕСТЕРОВ¹, канд. техн. наук; Ю. С. СЕМЕНОВ¹, канд. техн. наук, yuriy.semenov@isi.gov.ua;
В. В. ГОРУПАХА¹, А. М. КУЗНЕЦОВ², канд. техн. наук; А. Г. КОВАЛЕНКО², А. В. ЗУБЕНКО²
(¹ Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,
² ЧАО “Енакиевский металлургический завод”)*

Теоретические исследования, расчеты, промышленный опыт подавляющего большинства доменных цехов показывают, что одним из важнейших элементов технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива (ПУТ) является обеспечение максимальной газификации ПУТ в пределах фурменной зоны [1, 2]. Несмотря на успехи в подготовке ПУТ к доменной плавке, улучшение узлов ввода, совершенствование технологии сжигания ПУТ, часть его проходит через стадию неполного сгорания в пределах фурменной зоны, ухудшая дренажную способность горна. Анализ литературных данных и собственных исследований по влиянию ПУТ на

ход доменной плавки указывает, что содержание углерода в частично сгоревшем топливе может оставаться на уровне 5–15 %, что совместно с золой ПУТ составляет 15–20 % от массы вдуваемой пыли [3–5]. Основная часть несгоревшего ПУТ выносится под зону вязкопластичного состояния (по сечению печи) в район среза фурменного очага.

В преддверии и в период освоения ПУТ в ЧАО “Енакиевский металлургический завод” (ЕМЗ) сложились сложные шихтовые и организационные условия [6, 7]. Из-за организационных сложностей поставки шихтовых материалов происходили нерегулярно, обуславливая необходи-

мость обрабатывать режимы работы доменных печей с переменными производительностью и количественным составом компонентов шихты. В этот период содержание в шихте окатышей изменялось в пределах от 10 до 85 %, вызывая необходимость изменять основность агломерата в пределах от 1,6 до 2,2 соответственно.

Переход на технологию доменной плавки с применением ПУТ отразился не только на расходе кокса, выходе конечного доменного шлака, но и привел к изменениям его физико-химических свойств, в частности, увеличению его гетерогенности. Поэтому исследование процессов формирования первичных, промежуточных и конечных шлаковых расплавов из различных видов железорудного сырья при применении ПУТ в доменной плавке является важным направлением, позволяющим на базе физико-химических особенностей различных материалов сформулировать требования к их распределению по сечению колошника доменной печи.

В Институте черной металлургии НАН Украины в лабораторных условиях проведена про-

плавка различных видов железорудного сырья на коксовой насадке с различной степенью замуроренности частицами ПУТ [5]. Анализ показателей высокотемпературных свойств агломерата, окатышей, кусковых и марганцевых руд, а также их смесей выявил значительное различие состава и свойств первичных шлаковых и металлоуглеродистых расплавов в процессе восстановительно-тепловой обработки.

На рис. 1 графически представлено изменение температуры начала фильтрации жидких фаз через коксовую насадку $T_{\text{нф}}$, массы остатка расплава в слое кокса $M_{\text{ост}}$ и содержания в нем FeO в зависимости от основности железорудного сырья. Из рис. 1 видно, что при повышении основности железорудного сырья температура начала фильтрации жидких фаз через коксовую насадку увеличивается, масса первичного шлакового расплава и содержание оксида железа в нем снижаются. Остаток расплава в слое кокса, как и вязкость первичных расплавов, увеличивается.

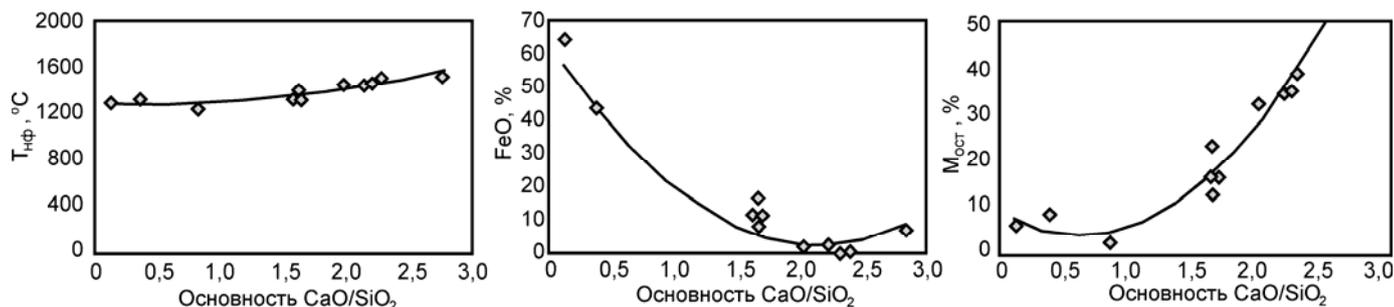


Рис. 1. Изменение высокотемпературных свойств железорудных материалов при изменении основности

Исследования показали, что при проплавке окатышей отделяется 25–35 % первичного шлакового расплава с содержанием в нем 42–64 % оксида железа, затем происходит совместное отделение металла и шлака и на коксовой насадке остается незначительное (6–8 %) количество расплава, оставшегося в слое кокса (рис. 2 и 3).

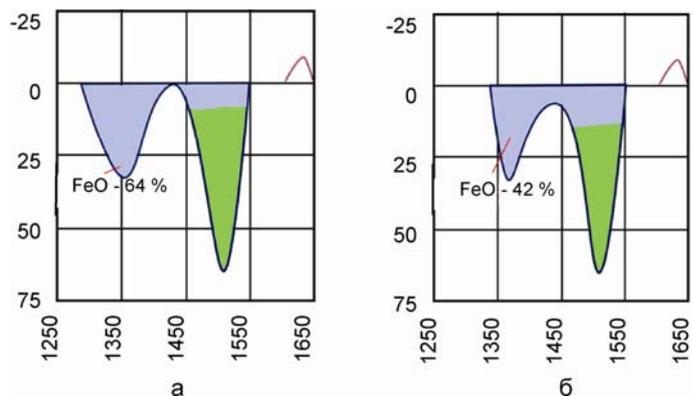


Рис. 2. Динамика фильтрации жидких продуктов плавки через коксовую насадку при использовании в шихте окатышей:
а — нефлюсованных; б — частично офлюсованных

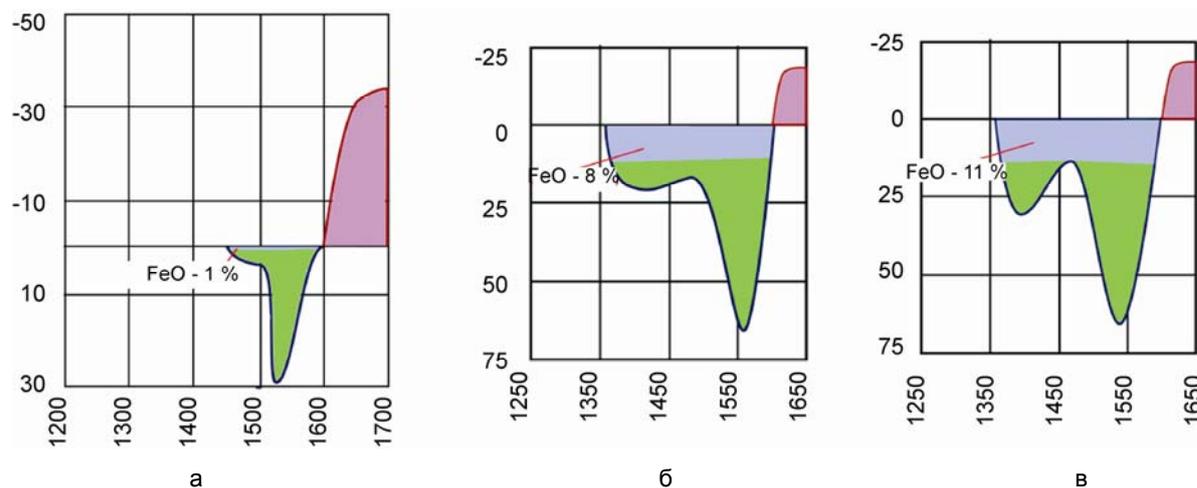


Рис. 3. Динамика фильтрации жидких продуктов плавки через коксовую насадку при использовании в шихте окатышей в смеси с агломератом и Mn концентратом:

а — высокоосновный агломерат ($CaO/SiO_2 \approx 2,0$); *б* — смесь: нефлюсованные окатыши + агломерат основностью 1,6 в соотношении 45:55; *в* — смесь: нефлюсованные окатыши + агломерат основностью 1,6 + Mn концентрат в соотношении 44:54:2

При проплавке смеси агломерата и окатышей близкой основности или агломерата основностью 1,0–1,2 в начале через стадию первичного шлакообразования проходит 12–15 % материала, затем происходит совместное отделение первичного шлака и металлоуглеродистого расплава. Остаток расплава в слое кокса повышается до 10–14 %.

При повышении основности агломерата до 1,5–1,65 формирование и фильтрация шлакового и металлоуглеродистого расплава через коксовую насадку проходят совместно. Остаток расплава в слое кокса может повышаться до 18–20 %.

Расплав высокоосновного агломерата ($CaO/SiO_2 \geq 2,0$), профильтровавшийся через коксовую насадку, практически полностью состоит из металлоуглеродистого расплава, шлаковая составляющая, несмотря на перегрев материала до 1600 °С, практически вся остается в слое кокса. В температурном диапазоне 1540–1600 °С вытекает около 25 % от массы загружаемого материала, практически полностью состоящего из металлоуглеродистого расплава. Немagnetной составляющей в вытекшем расплаве было менее 2 %. На рис. 4 представлено характерное состояние коксовой насадки при проплавке различных видов железорудного сырья.

Попадание частиц не полностью сгоревшего топлива в первичные и промежуточные расплавы из высокоосновных материалов повышает гетерогенность шлакового расплава и сдвигает область температур фильтрации жидких фаз через коксовую насадку на 25–50 °С, расширяя интервал вязкопластичного состояния материалов

в доменной печи, и увеличивает вероятность загромождения горна неплавкими массами [3]. По исследованиям авторов, вязкость первичных, промежуточных и конечных шлаковых расплавов при попадании от 4 до 7 % озолонного ПУТ от массы расплава увеличивает его вязкость на 8–15 % от базового уровня.

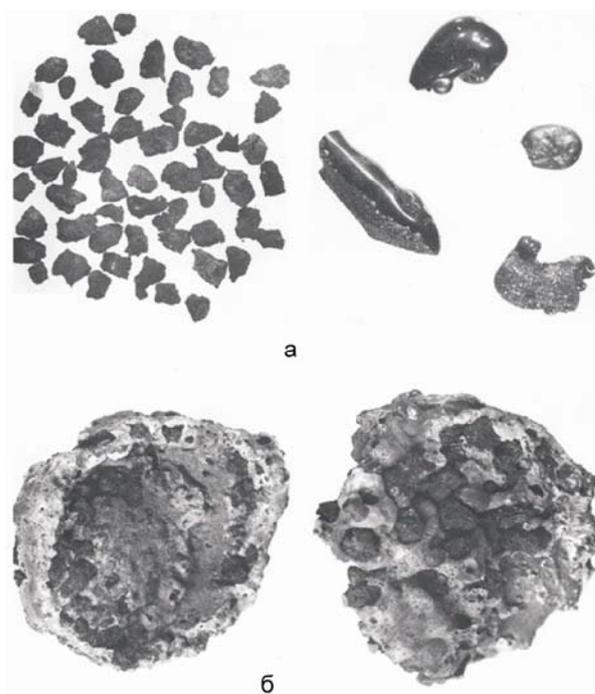


Рис. 4. Характерное состояние коксовой насадки при проплавке различных видов железорудного сырья: *а* — частично офлюсованные окатыши; *б* — высокоосновный агломерат ($CaO/SiO_2 = 1,65-2,2$)

При регулировании распределения шихтовых материалов по радиусу печи при дувании в горн ПУТ для достижения оптимальных технико-эко-

номических показателей плавки в характерных для ЧАО EM3 условиях работы необходимо соблюдать следующие требования:

1. Исключить локализацию отдельных видов железорудного сырья по сечению колошника доменной печи.

2. Распределением компонентов железорудной части шихты по сечению колошника необходимо обеспечить повышенную концентрацию низкоосновного сырья в зоне локализации частиц ПУТ.

3. Обеспечить достаточную газопроницаемость периферийной зоны, не допуская излишней “подгрузки” ее железорудными материалами, которая может приводить к “верхним подвисяниям” и неровному сходу шихты.

4. Обеспечить развитое центральное газораспределение с одновременным развитым взаимным перетоком газов между периферией и центром.

5. При развитом центральном газораспределении для повышения экономичности плавки необходимо обеспечить узкую осевую коксовую отдушину.

На основании изложенных принципов, а также исследований особенностей распределения температур газового потока над поверхностью засыпи предложена для реализации программа загрузки, характерная для условий ЧАО EM3 (рис. 5). Моделирование процессов поведения шихтовых материалов при восстановительно-тепловой обработке (в зоне температур 1050–1600 °С), формирования порций шихтовых материалов, распределения их на колошнике позволило сформировать заданные соотношения материалов по сечению колошника, обеспечиваю-

щие рациональное газораспределение в доменной печи.

Опытно-промышленное опробование скорректированного режима загрузки в период освоения ПУТ в переменных шихтовых условиях показало, что путем рационального распределения долей агломерата и окатышей по сечению колошника можно понизить вязкость шлакового расплава на 30–40 % от базового уровня, увеличивая при этом технологическую устойчивость доменной плавки.

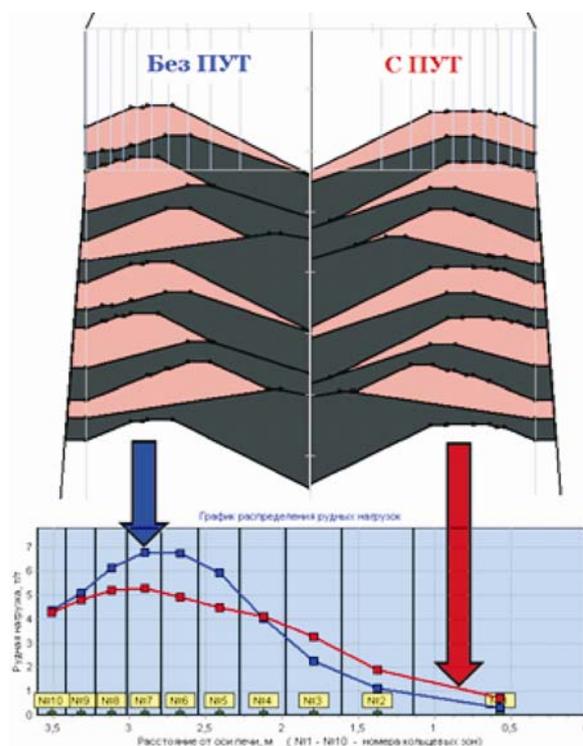


Рис. 5. Расчетная структура слоев шихтовых материалов и распределение рудных нагрузок по радиусу печи для двух рациональных программ загрузки (без ПУТ и с ПУТ)

Заключение

Работа доменных печей на многокомпонентном железорудном сырье при применении ПУТ обуславливает необходимость разработки технологических приемов и мер, направленных на исключение возможности локализации отдельных материалов по сечению доменной печи. Лабораторные исследования и опытно-промышленное опробование показали, что в условиях работы доменной печи на бедном железорудном сырье (содержание $Fe_{\text{общ}} \leq 56,0 \%$) с высокой долей окатышей и при применении ПУТ основность агломерата нецелесообразно повышать до величины, превышающей 2. В условиях работы доменной печи с применением ПУТ распределением компонентов железорудной части шихты по сечению колошника необходимо обеспечить по-

вышенную концентрацию низкоосновного сырья в зоне локализации частиц ПУТ.

Ввод в состав шихтовых материалов марганецсодержащей добавки приводит к снижению температур плавления смеси железорудных материалов, понижает вязкость расплава, снижает количество расплава, зависшего в коксовой насадке, и повышает технологическую устойчивость доменного процесса.

При управлении газораспределением по радиусу печи при вдувании в горн ПУТ необходимо обеспечить достаточную газопроницаемость периферийной зоны, не допуская излишней “подгрузки” ее железорудными материалами, обеспечить развитое центральное газораспределение с одновременным развитым взаимным пере-

током газов между периферией и центром, при развитом центральном газораспределении для повышения экономичности плавки необходимо обеспечить узкую осевую коксовую отдушину.

Освоение технологии применения ПУТ в переменных шихтовых условиях ЧАО ЕМЗ позволило в 2016 г. довести расход ПУТ в среднем до 130 кг/т чугуна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков, В. И. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива [Текст] / В. И. Большаков // Сб. научн. тр. ИЧМ “Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии”. — 2011. — Вып. 23. — С. 30–36.
2. Лялюк, В. П. Сравнительный анализ эффективности технологий доменной плавки с вдуванием ПУТ и загрузкой кускового антрацита [Текст] / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, А. К. Тараканов [и др.] // Сталь. — 2014. — № 1. — С. 2–5.
3. Филатов, С. В. Опыт применения ПУТ на доменной печи с конусным загрузочным устройством [Текст] / С. В. Филатов, В. И. Басов, И. Ф. Курунов [и др.] // Там же. — 2015. — № 7. — С. 6–9.
4. Летцель, Д. Процессы при вдувании угольной пыли в доменную печь [Текст] / Д. Летцель, Й. Хунгер, В. Крюгер [и др.] // Черные металлы. — 1999. — № 5. — С. 20–28.
5. Нестеров, А. С. Исследование процессов фильтрации расплавов через коксовую насадку в доменной плавке при применении пылеугольного топлива [Текст] / А. С. Нестеров, В. И. Большаков, Н. М. Можаренко [и др.] // Сб. научн. тр. ИЧМ “Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии”. — 2009. — Вып. 19. — С. 90–99.
6. Кузнецов, А. М. Основные положения задувок доменных печей после остановок различной продолжительности [Текст] / А. М. Кузнецов, А. Г. Коваленко, А. В. Зубенко [и др.] // Там же. — 2015. — Вып. 30. — С. 90–109.
7. Большаков, В. И. Эффективная работа аглодоменного производства ПАО ЕМЗ при расширении использования в шихте вторичных ресурсов и окатышей [Текст] / В. И. Большаков, А. С. Нестеров, А. Г. Коваленко [и др.] // Сталь. — 2014. — № 11. — С. 7–9.