



УДК 669.054; 671.24

Поступила 11.11.2015

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ PROCESSING OF INDUSTRIAL IRON CONTAINING WASTES

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», г. Минск, Беларусь, Л. Е. РОВИН, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

S. L. ROVIN, Technolit Co, Minsk, Belarus, L. E. ROVIN, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus

В статье представлен технологический процесс прямого получения железоуглеродистых сплавов из дисперсных оксидных железосодержащих отходов в ротационной наклоняющейся печи, позволяющий исключить необходимость предварительной подготовки исходного сырья.

This article presents the technological process of direct production of iron-carbon alloys from dispersed iron containing wastes in rotary tilting furnace, which allows to exclude the preliminary preparation of initial raw material.

Ключевые слова. Дисперсные металлоотходы, окалина, ротационные наклоняющиеся печи.

Keywords. Dispersed metal wastes, dross, tilting rotary furnaces.

Введение. Ротационные наклоняющиеся печи (РНП) – новый тип топливных вращающихся печей, обеспечивающий наиболее эффективный нагрев и переработку (рециклинг) полидисперсных материалов.

Результаты исследований, отработка технологии рециклинга на опытно-экспериментальном образце РНП с применением различных видов металлоотходов, анализ накопленного мирового опыта послужили основанием для разработки рекомендаций по расчету и конструированию печей и были использованы при проектировании РНП для нагрева и плавки чугуновой стружки, восстановительной плавки стальной прокатной окалины, переплавки отходов алюминия, плавки свинца из отходов аккумуляторного лома. Ротационные наклоняющиеся печи имеют высокий термический КПД (~ 50%), технологическую гибкость, высокую удельную производительность и рентабельность.

Основная часть. Технологический процесс получения чугуна и стали из прокатной окалины и других оксидных железосодержащих отходов в РНП состоит из нескольких последовательных стадий.

Подготовительная стадия включает набор и взвешивание шихты: окалины, восстановителя (коксика, отходов графита, электродного боя, лигнина или др.) и флюсов (известняка, доломита, плавикового шпата), возможно также использование материалов, способствующих интенсификации и более полному протеканию процессов твердофазного восстановления железа (например, алюминия).

К этой же стадии относится предварительный разогрев печи до 800–900 °С, если плавка производится после длительного простоя печи. В случае непрерывной работы РНП разогрев не требуется, но осуществляются контроль и поддержание требуемой температуры в печном пространстве.

Первая стадия рабочего процесса начинается с загрузки и разогрева шихты. Горелки включаются на максимальную мощность. Вращение печи осуществляется со скоростью 2–3 об/мин. Длительность нагрева окалины в зависимости от исходной температуры футеровки составляет примерно 30–40 мин, при холодной футеровке – 1,0–1,5 ч (и более применительно к печам большой емкости ($\geq 5 \text{ м}^3$)). Нагрев шихты осуществляется до температуры 800–900 °С.

Вторая стадия – начало и основной этап процесса восстановительной плавки окалины – твердофазное восстановление. Для этого в печь догружаются расчетное количество восстановителя и флюсы, горелка переводится в работу с недостатком воздуха (кислорода) при соотношении «газ/воздух», равном

1/7–1/6. Такой режим работы создает в печи восстановительную атмосферу, содержащую не менее 20% CO, при соотношении CO/CO₂ не менее 60/40. Важную роль в процессе восстановления играют также пары воды и водород. Целесообразно, чтобы соотношение H₂/H₂O было 1/1, что возможно только при конверсии H₂O при расчетном расходе кокса (или другого восстановителя) на плавку.

Управление составом атмосферы и температурой в печи – относительно простые (при использовании РНП, оборудованных двухпроводными газовыми горелками) и наиболее эффективные методы регулирования и управления восстановительными процессами на твердофазной стадии восстановительной плавки.

Процесс твердофазного восстановления определяется, в первую очередь, двумя факторами: температурой, которая должна поддерживаться в диапазоне 1100–1300 °С, и составом атмосферы в печи. Прочие факторы, такие, как размер частиц окалины, восстановителя, наличие извести (известняка), присадок алюминия, плавикового шпата и т. п., оказывают значительно меньшее влияние на интенсивность процесса. При этом следует учитывать, что при ведении процесса при максимальных температурах (>1200 °С) увеличивается вероятность крицеобразования – образования спекшихся комков (глыб) больших размеров, затрудняющих последующие стадии плавки.

Длительность процесса твердофазного восстановления составляет от 2 до 2,5 ч. Контроль продолжительности процесса ведется путем периодического отбора проб и определения достигнутой степени восстановления (металлизации) окалины. Условия в печи в этот период соответствуют режиму получения губчатого железа. На рис. 1 показана усредненная гистограмма, построенная по результатам экспериментальных плавки в РНП и отражающая интенсивность восстановления оксидов железа на твердофазной стадии. Каждая граница показателей соответствует пробе, отобранной из печи в момент времени, указанный на оси абсцисс. Опытно-экспериментальные плавки показали, что наиболее рациональным моментом перехода к жидкофазной стадии процесса является достижение степени металлизации 75–85% (активное образование спекшихся гранул губчатого железа).

Завершающей стадией процесса рециклинга окалины является жидкофазное восстановление и рафинирование расплава. Перевод в эту стадию производится путем догрузки в РНП оставшейся части восстановителя и флюсов, увеличения расхода природного газа до максимума при соотношении газ/воздух 1/7–1/6 и обогащении дутья кислородом (до достижения количества требуемого для полного сжигания топлива (примерно 6% от стехиометрического количества воздуха). Температура в печи при этом повышается до 1700–1800 °С. Материал расплавляется, образуется вспененный шлак и в течение примерно 30–45 мин проводится процесс жидкофазного восстановления.

Термовременной режим всего хода восстановительной плавки представлен на рис. 2.

После окончания «кипения» ванны расплава (выдержка расплава после завершения жидкофазного восстановления) процесс плавки может быть остановлен (расплав слит в изложницу) или дополнен *стадией рафинирования и доводки*: выдержки под слоем шлака до прекращения кипения, скачивания шлака, науглероживания путем добавки графита, десульфурации путем добавления плавикового шпата и извести и т. п. На стадии выдержки, доводки и слива расплава вращение печи прекращается, температура в рабочем пространстве поддерживается на уровне 1600–1700 °С.

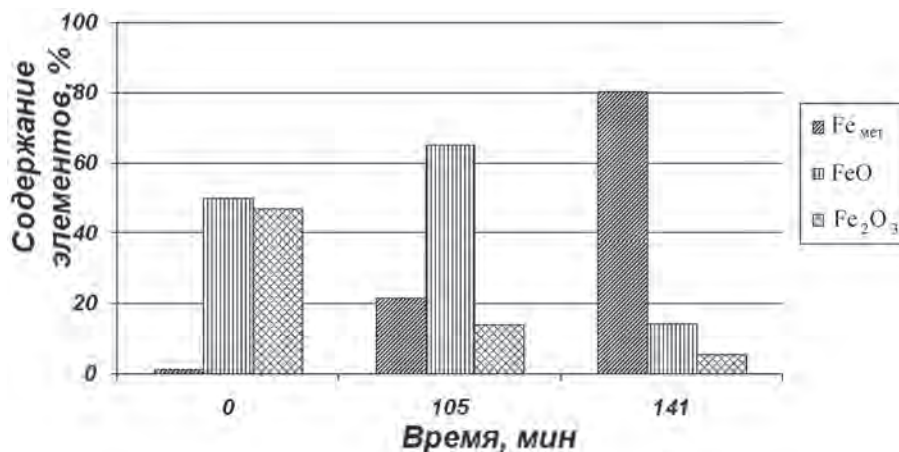


Рис. 1. Изменение состава окалины по ходу восстановительной плавки

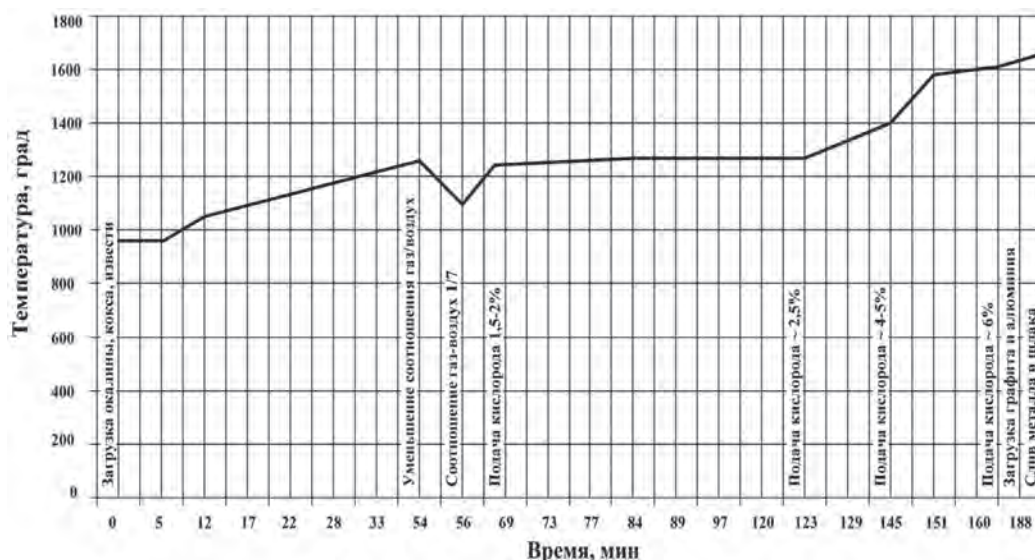


Рис. 2. Термовременной режим восстановительной плавки

В конце стадии твердофазного восстановления и перед сливом расплава из печи отбираются пробы для экспресс-анализа состава металла.

На рис. 3 показаны основные этапы процесса восстановительной плавки окалины на опытном образце ротационной наклоняющейся печи на Белорусском металлургическом заводе.

Материальный баланс восстановительной плавки окалины в РНП выполнен из расчета на 100 кг исходного железосодержащего сырья.

Исходные данные

Характеристики прокатной окалины:

химический состав: $Fe_{общ}$ – 68–75%; $Fe_{мет}$ – 2,6–4,3; FeO – 65–70; Fe_2O_3 – 25–32; элементы в пересчете изоксидов: Si – 0,13–0,17%; Mn – 0,40–0,45; S – 0,02–0,12; P – 0,01–0,015; Cu – 0,15–0,22; Cr – 0,1–0,2; Ni – 0,1–0,2%.

К расчету принят следующий состав железосодержащих компонентов: $Fe_{общ}$ – 72%; $Fe_{мет}$ – 3; FeO – 67; Fe_2O_3 – 30%.

Дисперсный состав, остаток на сите: < 0,05 – 3,83%; 0,063–2,9; 0,1 – 4,13; 0,16 – 5,3; 0,2 – 4,2; 0,315 – 7,76; 0,4 – 6,43; 0,63 – 10,36; 1,0 – 10,26; 1,6 – 15,8; 2,5 – 14,13; > 2,5 – 14,8%.

Плотность насыпная – 2200–2280 кг/м³.

Истинная плотность – 5000–5200 кг/м³.

Влажность – 3,15–3,35%.

Химический состав известняка: CaO – 53,7%; MgO – 0,48; SiO₂ – 1,59; Al₂O₃ – 0,74; п. п. п. – 43,2%.

Химический состав угля: C – 71%; H₂ – 5,0; N – 1,0; O – 22,1; S – 0,8; сверх 100%: W – 12,0; A (зола) – 9,5%.

Состав кокса: C ≥ 90%; S – 1,5; N – 1,0; A – 10; W – 1,0%.

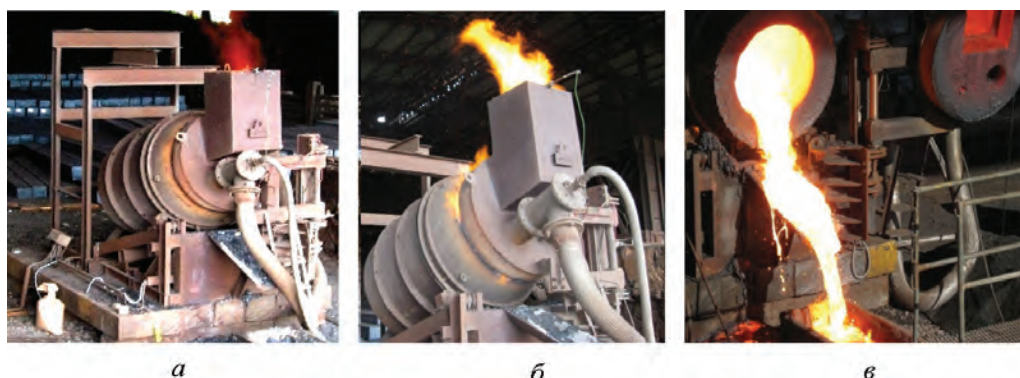


Рис. 3. Проведение экспериментальных восстановительных плавки окалины на РНП-500 (ОАО «БМЗ», 2010 г): а – стадия твердофазного восстановления; б – стадия жидкофазного восстановления; в – слив металла и шлака в изложницу.

Температура исходных материалов равна температуре окружающей среды.

Температура расплава на выпуске из печи – 1450–1550 °С в зависимости от типа сплава. Температура газов на выходе из печи – 700–1300 °С (изменяется по ходу плавки).

Процессы десульфурации, корректировка (доводка) химического состава и рафинирование не проводятся по условию постановки задачи.

Состав полученного металла: $Fe_{\text{общ}}$ – 95–98%; $Fe_{\text{мет}}$ – 94–97; $FeO+Fe_2O_3$ – 2–5; Si – 0,1–0,5; Mn – 0,02–0,05; C – 0,2–2,1% при получении стали, или C – 3,1–3,8% при получении чугуна; S – 0,04–0,07; P – 0,02–0,01%.

Расчетный состав металла: $Fe_{\text{общ}}$ – 97%; $Fe_{\text{мет}}$ – 95; $FeO + Fe_2O_3$ – 3; Si – 0,3; Mn – 0,05; C – 1,5; S – 0,05; P – 0,015%.

Состав (усредненный) шлака: CaO – 17–21%; SiO_2 – 22–27; MgO – 2,6–3,8; FeO – 10–13; MnO – 2,4–2,7; Al_2O_3 – 16–25%.

Основность шлака – 1,1 – 2,2.

Выход металла из окалины в среднем (по практическим данным): 90% от железа общего $Fe_{\text{общ}}$.

Аналогично описанному выше технологическому процессу рециклинга прокатной окалины в ротационных наклоняющихся печах может быть реализована переработка и других оксидных железосодержащих отходов: проржавленной стружки, шлама, сырья, полученного при дроблении и магнитной сепарации металлургического шлака и др.

В качестве ограничения можно считать лишь нежелательность применения ультрадисперсного сырья (например, аспирационной пыли) и восстановителя – с размером частиц менее 10 мкм, так как это может привести к большим потерям на пылеунос. При рециклинге такого рода отходов в РНП наиболее рациональным решением является предварительная грануляция железосодержащего сырья и восстановителя. Оптимальным диапазоном размеров для сырья и восстановителя можно считать пределы от 0,5–1,0 до 20, для флюсов – от 10 до 50 мм.

В отличие от переработки оксидных многокомпонентных железосодержащих отходов рециклинг стружки, мелкого скрапа, обрезков проволоки, металлической пыли и других подобных металлических отходов, которые содержат относительно небольшое количество оксидов железа и других неметаллических примесей (не более 5–10%), может быть организован, минуя стадию твердофазного восстановления, что позволяет существенно сократить продолжительность переработки до 45–60 мин.

Процесс рециклинга дисперсных металлических отходов в ротационных плавильных печах в данном случае фактически сводится к переплавке отходов и включает в себя высокотемпературный безокислительный нагрев, расплавление, при необходимости – науглероживание, выдержку, скачивание шлака и выдачу расплава в разливочный ковш или изложницы.

Выводы

Разработанный и прошедший успешную апробацию технологический процесс рециклинга железосодержащих отходов в ротационных наклоняющихся печах в отличие от всех других известных методов получения железа позволяет получить металл из железосодержащего сырья, минуя стадию его предварительной подготовки (очистки, гомогенизации, окомковывания и т. д.), в одном технологическом агрегате периодического действия. Таким образом, становится реальностью решение задачи децентрализованного рециклинга дисперсных низкосортных железосодержащих отходов непосредственно в местах их образования на машиностроительных, металлообрабатывающих и металлургических предприятиях.

Сведения об авторах

Ровин Сергей Леонидович, УП «Технолит», ул. Я. Коласа, 24, 220013, г. Минск, Беларусь. Тел./факс + 375 17 292 85 20. E-mail: technolit@list.ru, technolit@tut.by.

Ровин Леонид Ефимович, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, пр. Октября, 48. 246746, г. Гомель, Беларусь. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by.

Information about the authors

Rovin Sergey, Technolit company, 24 Kolasa str., Minsk, 220013, Belarus. Tel./fax+ 375 17 292 85 20. E-mail: technolit@list.ru, technolit@tut.by.

Rovin Leonid, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, October Ave., 48, 246746, Gomel, Belarus. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by.