



It is shown that introduction of rotary tilting furnaces can be a basis for considerable resources saving, lowering of power inputs, reduction of products cost for Byelorussian machine-building enterprises.

С. Л. РОВИН, УП «Технолит», Л. Е. РОВИН, Т. М. ЗАЯЦ, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 621.74

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ДОСТОИНСТВА РОТАЦИОННЫХ НАКЛОНЯЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Ротационные наклоняющиеся плавильные печи (РНП) — новый, появившийся фактически только в конце XX в., тип печей, популярность которых стремительно растет в литейном производстве и металлургии. Сегодня эти печи выходят на лидирующее место в металлургии вторичных цветных сплавов: при производстве алюминиевых, цинковых, свинцовых, медных и других сплавов из стружки, мелкого скрапа, шлама, шлака и т. д. Расширяется применение РНП и при получении черных сплавов, в первую очередь, чугуна.

Среди используемых в настоящее время плавильных печей нет агрегатов, которые позволяли бы с большей эффективностью переплавлять дисперсную шихту [1]. Термический к. п. д. РНП при переплавке стружки достигает 50–55%, что в 2–4 раза превышает термический к. п. д. барабанных, индукционных, дуговых печей, печей отражательного типа и др. При этом следует отметить, что в индукционных и дуговых печах плавка при 100%-ной завалке стружки вообще невозможна.

РНП дают возможность активного проведения всех металлургических процессов: восстановления, окисления, расплавления, перемешивания расплава, рафинирования, модифицирования и т. д.

Вот какую характеристику дает ротационным наклоняющимся печам один из признанных мировых лидеров в производстве плавильного и термического оборудования корпорация «Otto Junker», хорошо известная белорусским литейщикам по индукционным печам, системам выдержки и разлива металла [2]: «Ротационные наклоняющиеся печи (Tilting Rotary Furnace) отличаются высокой производительностью и непревзойденной скоростью плавки, высоким коэффициентом использования металла, минимальной трудоемкостью и удобством в обслуживании. РНП хорошо перенастраиваются. Одна и та же печь может перерабатывать

отходы, смешанные металлоотходы (скрап), загрязненную стружку и т. д.

Для компаний, которые хотят уйти от стационарных (фиксированных) роторных печей или отражательных плавильных печей, РНП представляют значительные преимущества с привлекательной отдачей: 25%-ная экономия топлива; 50%-ное увеличение производительности; 30%-ная экономия времени при шлакоудалении; 50%-ная экономия при флюсовании; уменьшение трудоемкости и полная автоматизация процессов загрузки, плавки, слива металла и скачивания шлака».

Ротационные печи — единственный из современных малотоннажных плавильных агрегатов, позволяющий восстанавливать металлы из оксидов и извлекать их из других соединений (например, получать свинец из оксидно-сульфатной пасты отработавших аккумуляторов).

Помимо «Otto Junker», среди наиболее известных сегодня производителей ротационных наклоняющихся печей можно назвать французскую компанию «BJ-Industries», итальянскую фирму «Sogemi engineering», американский концерн «MDY», английскую фирму «TTC», немецкую «ASM-Anlagentechnik» и др.

Однако практически все они сегодня сориентированы на выпуск печей для получения цветных сплавов. Исключение составляют, пожалуй, только фирма «Sogemi» и «TTC», которые предлагают потребителям печи емкостью от 3 до 30 т для выплавки чугуна как альтернативу индукционным печам при работе на низкокачественной шихте.

Опираясь на мировой опыт и результаты собственных исследований, в 2004–2005 гг. УП «Технолит» (БНТУ) совместно с кафедрой МитЛП ГГТУ им. П. О. Сухого разработали и запатентовали целый ряд оригинальных технических решений в области термообработки и плавки дисперсных



Рис. 1. Ротационная печь для получения свинца из шламов

материалов [3–5]. Результатом этих работ стало создание собственной ротационной наклоняющейся плавильной установки [6, 7].

В 2006 г. по заказу российской компании «Авангард Юнион» была разработана, изготовлена и введена в эксплуатацию (январь 2007 г.) первая промышленная ротационная установка емкостью 5 т для получения черного свинца из лома аккумуляторных батарей (рис. 1). К 2010 г. по документации, разработанной УП «Технолит», были изготовлены уже пять ротационных плавильных печей различного назначения, в том числе для выплавки алюминиевых сплавов, получения черного свинца из оксидно-сульфатного шлама, переработки чугуной стружки, рециклинга (восстановления) оксидных железосодержащих отходов (окалины, металлургической пыли и шламов). В январе 2009 г. РНП для переработки чугуной стружки емкостью 2 т, изготовленная силами РУП «ГЛЗ «Центролит», была удостоена премии Министерства промышленности Республики Беларусь (рис. 2).

Как уже было отмечено, продукция большинства производителей РНП предназначена для переработки цветных сплавов и хотя все они отмечают «всеядность» этих печей, тем не менее, технология плавки в ротационных печах до сих пор развивалась и совершенствовалась в основном в направлении рециклинга цветных металлоотходов.

В то же время около 90% образующихся в мире металлоотходов – это отходы черных металлов. Только в Беларуси накапливается ежегодно около 350 тыс. т отходов черных металлов, причем до 40% составляют низкосортные дисперсные загрязненные (маслами, СОЖ, ржавчиной и т. п.) отходы: стружка, тонколистовой мелкий скрап, обрезки и т. п. Кроме того, на машиностроительных и металлургических предприятиях образуется боль-



Рис. 2. Ротационная печь для переработки чугуной стружки РУП «Гомельский литейный завод «Центролит»

шое количество оксидных железосодержащих отходов (до 120 тыс. т в год) – окалины, шламы и металлургическая пыль (аспирационная пыль от плавильных печей, дробелитейных установок, дробеметного и металлообрабатывающего оборудования и т. д.). В Беларуси утилизируется не более 15% таких отходов и, по ориентировочным оценкам, их общее накопление в отвалах и на свалках на сегодняшний день составляет около 2–3 млн. т. Аналогичная ситуация наблюдается и в России, где накопления низкосортных дисперсных оксидных отходов в отвалах и на свалках оцениваются в 500 млн. т [8].

В настоящее время переработка стружки в республике осуществляется путем централизованного сбора стружки со всех предприятий, на которых она образуется, брикетирования и последующей реализации для переплавки в действующих плавильных агрегатах. Небольшая часть переплавляется на тех предприятиях, где она образуется.

Существуют два способа брикетирования: холодное и горячее. С помощью первого получают относительно дешевые брикеты (около 150 долл. США за 1 т), но очень низкого качества: плотность $< 5000 \text{ кг/м}^3$, количество загрязнений $> 3\%$, химический состав нестабильный, механическая прочность низкая. Всякого рода связки, добавки восстановителей не улучшают принципиально качество таких брикетов, как шихтового материала, но увеличивают его стоимость и содержание неметаллического балласта. Применение таких брикетов в качестве шихты для действующих плавильных печей в литейных и металлургических печах снижает все технико-экономические показатели плавки и качество выплавляемого металла.

Горячее брикетирование позволяет получить брикеты более высокого качества: плотностью до $(6,0–6,5) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, практически не содержащие

масел, более прочные. Однако их стоимость доходит до 350 долл. США, что делает такие брикеты неконкурентными в сравнении с плотным качественным кусковым металлоломом.

Поэтому на ряде предприятий продолжают попытки использования стружки «навалом» в электропечах. Результаты остаются неудовлетворительными: большой угар, снижение производительности, качества металла, увеличение удельных затрат электроэнергии и вредных выбросов. Все это с лихвой перекрывает выгоду от использования дешевой шихты.

Что касается окалины, шламов и металлургической пыли, то сбором этих отходов и их переработкой предприятия ГО «Белвормет» не занимаются, соответственно машиностроительным и металлургическим предприятиям приходится либо хранить их в отвалах, либо оплачивать их вывоз на свалки промышленных отходов. В том и другом случае это наносит серьезный вред окружающей среде. Кроме того, потеря железосодержащего сырья для страны, импортирующей черные сплавы, экономически невыгодна.

Рециклинг оксидных железосодержащих отходов – одна из наиболее сложных проблем в области ресурсосбережения. В Европе эту проблему решают путем организации общеевропейского сбора, сортировки, предварительной подготовки и поставки таких отходов на доменные комбинаты, где они используются в качестве присада при производстве металлизированных окатышей (губчатого железа). Имеется такой опыт и в РФ [8]. Кроме того, за последние годы в черной металлургии был разработан ряд методов внедоменной металлургии железа, направленных не только на переработку рудного сырья, но и на рециклинг оксидных дисперсных металлоотходов: Hismelt, Redsmelt, Corex, Midrex и др. Некоторые из них эксплуатируются, другие представлены только опытными образцами и проходят апробацию. Однако все они представляют собой крупные металлургические комплексы, рассчитанные на переработку от 500 тыс. до 10 млн. т сырья в год. Все они предполагают предварительную подготовку восстановителей и сырья (сушку, окомковывание и т. п.), реализация их требует значительных капитальных вложений (от 300 до 500 млн. долл. США), а окупаемость составляет не менее 7–10 лет и возможна только при долгосрочной работе и полной загрузке мощностей комбината. Строительство таких комплексов в регионах, где металлоотходы не образуются и не собираются в таких объемах (например, в Беларуси), представляется нерациональным и вряд ли может окупиться.

Учитывая сказанное выше, при создании ротационных печей одной из важнейших поставленных задач была разработка технологии переработки (рециклинга) дисперсных оксидных железосодержащих отходов. В результате совместных усилий научно-производственного предприятия «Технолит» (БНТУ) и кафедры «Машины и технология литейного производства» ГГТУ им. П. О. Сухого эта задача была решена. Для апробации в производственных условиях результатов теоретических и лабораторных исследований был специально разработан опытно-промышленный образец ротационной наклоняющейся печи емкостью 500 кг (по завалке шихты). В 2009 г. он был изготовлен силами РУП «БМЗ» и установлен в копровом цехе завода (рис. 3). За полтора года на опытной РНП было произведено более 30 плавок окалины, металлургической пыли (отходов, образующихся на РУП «БМЗ»), стальной и чугунной стружки (отходов, поставляемых ГО «Белвормет», и собственных отходов ОАО «МЗОО»). В промышленных условиях были исследованы и отработаны процессы высокотемпературного нагрева и твердофазного восстановления оксидов железа в динамическом продуваемом слое, расплавление и жидкофазное восстановление, науглероживание, шлакообразование и другие процессы, происходящие в ротационной печи при переработке железосодержащих отходов.

В результате была доказана возможность и высокая эффективность процесса получения в ротационной печи чугуна из неподготовленной небрикетированной, влажной и замасленной стружки.

Но главное, впервые в мировой практике была реализована технология малотоннажного внедоменного получения железа из оксидов без предварительной подготовки сырья в одном технологиче-

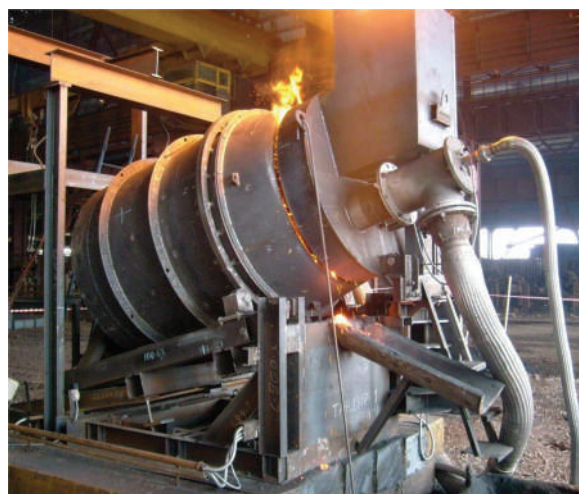


Рис. 3. Опытно-промышленный образец ротационной печи для рециклинга окалины на РУП «БМЗ»

ском агрегате – ротационной наклоняющейся плавильной печи.

Технология переплавки стружки в РНП включает в себя следующие основные операции.

1. Набор и взвешивание исходных шихтовых материалов: стружки (стружка россыпью, небрикетированная неочищенная от масел и СОЖ), восстановителя (любые твердые углеродсодержащие материалы), флюсов (известняк, доломит, здесь также может использоваться мелочь или отсев).

2. Загрузка исходных материалов в предварительно прогретую печь (~900–1000 °С) с помощью вибрлотка или опрокидывающегося лотка. При организации поточного производства очередную порцию шихтовых материалов загружают после окончания предыдущей плавки и слива металла и в этом случае топливо на разогрев печи не затрачивается. Загрузка осуществляется во вращающуюся печь (~1 об/мин).

3. Разогрев и расплавление шихты. Разогрев ведется при непрерывном вращении печи (1–2 об/мин) за счет сжигания природного газа. Могут использоваться двухпроводные или блочные газовоздушные, или газокислородные горелки. В печи поддерживается восстановительная атмосфера ($\text{CO} > \text{CO}_2$). После разогрева материала до температуры 900–1000 °С подается кислород и температура в печи поднимается до 1600–1700 °С, металл расплавляется и прогревается до температуры 1400–1450 °С. Общее время разогрева и расплавления 20–25 мин. Контроль температуры осуществляется по показаниям термопары, встроенной в крышку печи, и пирометра.

4. Выдержка, при необходимости введение модификаторов или науглероживателей и последовательный слив металла и шлака (или скачивание шлака и слив металла). Металл сливается в изложницу или ковш в зависимости от организации процесса и дальнейшего его использования, шлак – в шлаковню. Перед сливом металла вращение печи останавливается, крышка печи с горелочным устройством отводится в сторону и печь из рабочего положения под углом – (15–20)° наклоняется в положение слива расплава +(30–35)°.

Выход металла из стружки – 90–95% (потери связаны с наличием в стружке загрязнителей). Стойкость футеровки печи (жаростойкий бетон) – 400–500 плавов. Удельные расходы энергоносителей и шихтовых материалов на получение 1 т металла приведены в таблице.

Технология восстановительной плавки окалины в ротационной печи представляет собой двухстадийный процесс: первая стадия – разогрев до температуры 900–1100 °С и твердофазное восста-

Затраты материалов и энергоносителей на получение металла из отходов в РНП

Материалы	Удельный расход на получение 1 т	
	металла из окалины	чугуна из стружки
Сырье ¹ – окалина/стружка, кг	1550–1700	1050–1100
Восстановитель ² – отсев кокса (коксик), электродный бой, отсев угля, кг	600–750	150–170
Флюсы – известняк, доломит, кг	100–150	55–65
Топливо – природный газ, м ³	180–200	80–90
Кислород, м ³	30–40	10–12
Электроэнергия, кВт	10	5–6

Примечание. ¹ При использовании в качестве сырья аспирационной пыли удельный расход сырья и остальных шихтовых материалов увеличится пропорционально снижению содержания $\text{Fe}_{\text{общ}}$. ² Большие количества восстановителя соответствуют процессу получения чугуна, меньшие – стали.

новление (аналогично обжиговым печам), вторая стадия – расплавление и жидкофазное восстановление (аналогично процессам Ромелт и др.)

За счет высокой интенсивности тепло- и массообменных процессов в дисперсных динамических слоях (при вращении печи), хорошего контакта между чешуйками окалины и частичками восстановителя процессы восстановления углеродом и СО (продуктом газификации углерода в печи) идут достаточно эффективно. Путем регулирования концентрации СО за счет изменения соотношения газ–воздух (горение с недостатком кислорода при соотношении газ/воздух 1/6–1/7) процесс восстановления осуществляется в оптимальном (> 20% СО) режиме, что повышает производительность и к. п. д. печи.

После образования гранул губчатого железа процесс переводится в стадию жидкофазного восстановления оксидов. Температура в печи повышается до 1750–1850 °С за счет подачи кислорода и сжигания остающегося в печи углерода. Жидкий металл перегревается до температуры 1600–1650 °С и сливается в ковш или изложницы.

Первый период длится в зависимости от состава материала 2,0–2,5 ч (при разогретой печи), второй – 25–30 мин. Выход железа составляет до 90% от теоретически возможного (от $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в исходной шихте). Удельные расходы шихтовых материалов и энергоносителей приведены в таблице.

Ориентировочная цена металла, полученного в ротационной печи из железосодержащих отходов, составляет 155–175 долл. США, т. е. на 50–70 долл. дешевле стоимости кускового лома и почти в 3 раза ниже стоимости доменных чугунов. При средней цене ротационной печи емкостью 2–5 т 150–200 тыс. долл. США окупаемость установ-

ки и технологии переработки низкосортных металлоотходов не превышает 9–12 мес. Кроме того, решаются и экологические проблемы, а также частично задачи импортозамещения.

При организации производства с применением РНП для переработки металлоотходов на базе действующего литейного цеха наиболее рациональным представляется использовать ротационные печи не взамен существующих плавильных агрегатов, а в дополнение к ним: или в составе дуплекс-процесса (например, по схеме «РНП – индукционная печь» или «РНП – электродуговая печь»), или для производства качественного шихтового материала (металлической чушки заданно-

го химического состава), заменяющего высоко-сортный кусковой лом или первичные доменные чугуны. Первый вариант при этом, конечно, предпочтительнее, так как обеспечивает работу основных плавильных агрегатов (электропечей) с жидкой металлизавалкой, что существенно снижает затраты электроэнергии на плавку и повышает производительность печей.

Широкое внедрение ротационных наклоняющихся плавильных печей может стать для белорусских машиностроительных предприятий основой для значительной экономии ресурсов, сокращения энергозатрат, снижения себестоимости продукции, решения экологических проблем.

Литература

1. Трибушевский В. Л., Римошевский С. Л., Иванов Д. Э., Каленик О. Н. Тепловые особенности плавления дисперсных материалов в ротационных печах // *Металлургия машиностроения*. М., 2009. № 3, С. 4–5.
2. Проспект корпорации «Otto Junker»: «Titling Rotary Furnace», 2008 г.
3. Пат. РБ № 1424 от 01.03.2004 г. Ротационная установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
4. Пат. РБ № 1732 от 15.09.2004 г. Ротационная качающаяся установка для термообработки и плавки дисперсных и кусковых материалов / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
5. Пат. РБ № 2428 от 03.10.2005 г. Ротационная установка для термообработки и сушки дисперсных и кусковых материалов / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
6. Пат. РБ № 2770 от 01.03.2006 г. Ротационная наклоняющаяся установка для плавки дисперсных и кусковых материалов / Л. Е. Ровин, О. М. Валицкая, С. Л. Ровин.
7. Пат. РБ № 4989 от 15.10.2008 г. Ротационная наклоняемая печь для выплавки чугуна, стали и других тугоплавких сплавов из дисперсных и кусковых материалов / Н. В. Андрианов, В. А. Маточкин, В. Н. Прохоренко и др.
8. Зайцев А. К., Похвиснев Ю. В. Экология и ресурсосбережение в черной металлургии // *Соросовский образовательный журнал*. 2001. Т. 7. № 3. С. 52–58.