



УДК 621.745

Поступила 09.09.2014

С. Л. РОВИН, УП «ТЕХНОЛИТ»

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА СКОРОСТИ ПРОЦЕССОВ ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

При восстановлении металлоотходов масштабный фактор влияет на интенсивность осуществления окислительно-восстановительных реакций. Проведение рециклинга в динамических слоях дисперсных материалов существенно ускоряет процесс твердофазного восстановления по сравнению с восстановлением кусковых компонентов.

At recovery of metal discard the scale factor influences intensity of realization of oxidation-reduction reactions. Carrying out of recycling in dynamic layers of disperse materials accelerates significantly the process of solid-phase restoration in comparison with recovery of lump components.

Утилизация путем повторного применения в производстве техногенных отходов – задача, актуальность которой в современных условиях постоянно возрастает. Для Республики Беларусь из этой общей проблемы особой значимостью выделяется рециклинг металлоотходов. Объемы образующихся в стране ежегодно отходов, содержащих металлы, соизмеримы с объемами импорта металлопродукции. Накопленные в отвалах металлоотходы составляют сегодня миллионы тонн.

Сдерживает развитие рециклинга металлов, прежде всего черных, недостаточно развитая научно-техническая база этого сложного многостадийного процесса, начиная с исходных сведений о материале.

Металлоотходы – это продукты различных технологических процессов или длительной эксплуатации металлоизделий. Если последние, так называемый кусковой металлолом, уже давно превратились из отходов в ценное сырье и продукт импорта-экспорта, то технологические отходы продолжают накапливаться, несмотря на усилия, предпринимаемые во всем мире по их утилизации.

К их числу относятся прежде всего дисперсные материалы, стружка, мелкая обрезь и другие продукты обработки металлов, окалина, абразивная и аспирационная пыль, шламы, шлаки и т. п. За исключением продуктов обработки резанием, прочие материалы представляют собой оксиды и другие соединения и при рециклинге требуют восстановления и извлечения основного металла из соединений с последующим его рафинированием.

Так как переработка кускового плотного лома успешно реализуется в традиционных плавильных

агрегатах: вагранках, дуговых и индукционных печах, то и дисперсные материалы настойчиво пытаются преобразовать в кусковые с помощью брикетирования, окатывания, окомковывания.

Надо отметить, что с проблемой восстановления дисперсных отходов со второй половины прошлого века столкнулись и металлурги, решая задачу прямого (внедоменного) восстановления железной руды. Это перспективное направление развивается высокими темпами и в настоящее время уже обеспечивает получение около 10% мирового производства железа.

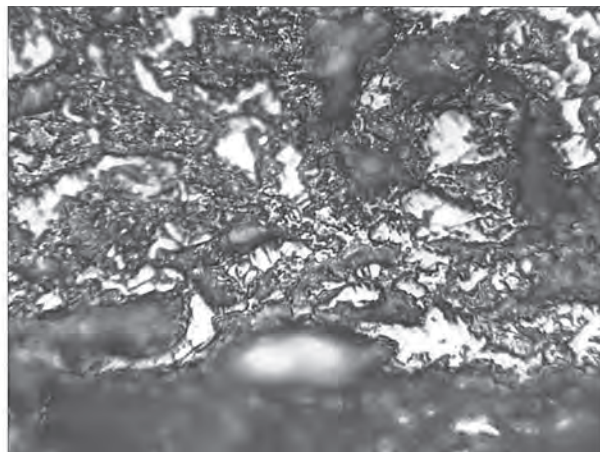
По технологии, сходной с производством агломерата, из руды путем ее дробления, обогащения, размалывания, смешивания с добавками и связующими, изготавливаются окатыши, которые затем в установках различного типа восстанавливают до губчатого железа. В некоторых случаях шихту доводят до стадии жидкофазного восстановления с получением железоуглеродистого сплава.

И при изготовлении брикетов, и при производстве металлизированных окатышей было замечено влияние масштабного фактора на эффективность производства: чем меньше размеры элементов или чем выше отношение абсолютных значений площади и объема (f/v), чем более развитая поверхность элемента, тем выше производительность установки. Увеличение скорости процесса фиксировалось в изотермической зоне, что исключает влияние конвекции.

Со времени начала производства железорудных окатышей размеры их значительно уменьшились: от ~30–60 до 10–13 мм, хотя и сейчас отдельные ГОК производят окатыши диаметром 20–



а



б

Прокатная окалина до и после восстановления: а – поперечное сечение частички окалины до восстановления. $\times 300$; б – частичка окалины после восстановления. $\times 50$

40 мм. Более мелкие окатыши обеспечивают увеличение производительности печей примерно в 1,3–1,5 раза.

Исследования механизма восстановления оксидов и других соединений железа (нитридов, сульфидов, сложных минералов), которые выполнялись в лабораторных условиях на высоко- и ультрадисперсной пыли ($\leq 1 \cdot 10^{-6}$ м), выявили ряд закономерностей в протекании массообменных процессов. Это, прежде всего, непропорциональное увеличение скорости восстановления оксидов вплоть до взрыва. Экспоненциальный рост скорости реакции наблюдается в диапазоне температур 900–1200 °С при стехиометрическом или избыточном (по восстановителю) составе смеси оксидов (вюстит и магнетит) и графита. Аналогичные данные были получены в работе [1] на конвертерных шлаках.

При переходе к образцам массой 50–100 г, когда естественным замедляющим фактором является массообмен в плотном слое, скорость восстановления составляла уже 10–20 мин, что, тем не менее, примерно на порядок меньше, чем при восстановлении окатышей или агломерата в слое.

Интересно отметить, что в работе [2] приведены близкие по значению к указанным скорости восстановления окатышей (~10 мм) в монослое в печи с вращающимся подом на установке ITmk3 на опытном заводе компании «Kobe Steel» (Япония). Однако авторы не дают каких-либо объяснений такому значительному росту скорости процесса.

Эксперименты, проведенные в аналогичных условиях на прокатной окалине с различными восстановителями (графит, кокс, лигнин), подтвердили высокую скорость металлизации. Состав газов на выходе из слоя также отличался от равновесно-

го в сторону увеличения CO_2 . Это связано не только с дисперсностью частиц окалины, но и с высокой неоднородностью их поверхности (что было выявлено в процессе исследований), наличием рыхлот, пор (в том числе сквозных), различных соединений оксидов железа, кремния, кальция и др. (см. рисунок).

Такое состояние материала приводит к многократному увеличению удельной площади поверхности частицы и соответственно контакта с газовыми реагентами.

Для выявления различий в свойствах материалов в зависимости от масштабного фактора были отобраны образцы аспирационной пыли от различных сталеплавильных агрегатов. Образцы пыли разделяли на фракции вплоть до 0,01 мкм ($1 \cdot 10^{-8}$ м), определяли химический состав, физические свойства и реакционную способность.

Было установлено, что, начиная с размеров $d \leq 1 \cdot 10^{-6}$ м, наблюдается изменение ряда характеристик компонентов фракций. Так, магнитная проницаемость наиболее мелких фракций изменяется на порядок, снижается в 2–3 раза удельное электросопротивление, возрастают адгезионные силы и др. Резко увеличилась реакционная способность. Можно в связи с этим отметить и такой известный факт, как самовозгорание сталеплавильной аспирационной пыли, уловленной в фильтрах при хранении на воздухе, причем возгорание может иметь место даже при отрицательных температурах окружающей среды.

Изменение физико-химических свойств материала при ультрадисперсном дроблении, очевидно, связано с изменением строения частиц, в частности, с образованием кластеров, имеющих упорядоченную кристаллическую структуру с четко выраженной анизотропией. При этом процессы

переноса и соответственно осуществления окислительно-восстановительных реакций будут также существенно изменяться. В частности, этим можно объяснить отмеченное рядом исследователей [1] отклонение от расчетных по реакции Будурара значений в составе газов при восстановлении металлургических шламов.

В металлургической практике неоднократно делались попытки использовать данный эффект при прямом получении железа из руды и рециклинге металлоотходов. Это известные установки HYL, FIOR и др. Однако сложные системы подготовки стехиометрических высокодисперсных смесей и жесткие требования по безопасности при работе с такими смесями и ее компонентами, например, угольной пылью, до настоящего времени препятствуют выходу таких методов и установок за пределы опытно-промышленных.

В то же время, учитывая специфику малотоннажного и рассредоточенного образования металлоотходов в нашей стране с ее развитым машиностроением, можно использовать этот эффект при создании интенсивных способов и устройств для рециклинга дисперсных металлосодержащих отходов.

В соответствии с СТБ 2026-2010, который действует в настоящее время в Республике Беларусь, все отходы черных металлов, в том числе стружка, делятся на два класса: стальной и чугунный металлолом, и на отходы вне класса, к которым относятся окалина, сварочный шлак (шлак, образующийся в нагревательных печах), проржавленная чугунная и стальная стружка, а также нерассортированный металлолом. При этом металлургические шлаки, металлосодержащая аспирационная пыль и шламы вообще не рассматриваются указанным стандартом и соответственно не учитываются и не включаются в металлооборот. Все виды стального и чугунного металлолома, согласно приведенным в стандарте рекомендациям, подле-

жат переработке в традиционных плавильных агрегатах: вагранках, дуговых и индукционных печах, а отходы «вне класса» – в доменных печах. В то же время с точки зрения переработки целесообразно все металлоотходы разделить на три группы, в качестве главного критерия, приняв масштабный фактор: крупный плотный кусковой лом; дисперсные отходы с размерами от 0,1–0,5 до 10–20 мм (окалина, стружка, мелкий скрап, высечка, дробь, гранулы, омагничиваемый отсеб переработки шлака и т. п.); высоко- и ультрадисперсные отходы (пыли и шламы). Попытки использовать для переработки дисперсных отходов традиционные плавильные агрегаты не учитывают технологических особенностей таких материалов и приводят к снижению параметров плавки и ухудшению качества металла, большим потерям на угар и в шлак.

Переработка таких отходов без предварительной подготовки возможна при использовании нового типа плавильных агрегатов – ротационных наклоняющихся печей (РНП). Опытно-промышленная проверка такой технологии на специально разработанных для этой цели установках показала высокую эффективность и перспективность РНП. Так, процесс восстановления прокатной окалины с использованием в качестве восстановителей углеродсодержащих отходов при проведении экспериментальных плавов на Белорусском металлургическом заводе потребовал менее 3 ч против 20–35 ч в традиционных установках прямого восстановления (в твердой фазе). Нагрев стружки до температуры 700–800 °С в печи емкостью 2 т на ОАО «ГЛЗ «ЦЕНТРОЛИТ» занимает 12–15 мин при термическом к. п. д. 49–51%, а процесс переплава стружки составляет 35–45 мин.

Разработанная технология и оборудование могут служить основой для создания развитой сети малотоннажного рециклинга железосодержащих отходов на машиностроительных и металлургических предприятиях.

Литература

1. Тлеугабулов С. М., Тлегенова А. М., Григорова О. А. Физико-химическое исследование твердофазного восстановления и процесса извлечения металлов из дисперсного сырья // Тр. междунар. науч.-практ. конф. «Научно-технический прогресс в металлургии». Темиртау, 2003. С. 229–239.
2. Kikuchi S., Ito S., Kobayashi I. ITmk3 Process // Kobelco Technology Review. Vol. 12. 2010. N 29. P. 77–84.
3. Ровин С. Л., Ровин Л. Е. Процессы жидкофазного восстановления окалины в ротационных печах // Литье и металлургия. 2012. № 3. С. 11–20.