



УДК 621.745

Поступила 27.01.2014

Студент гр. 104319 Е. А. КОНОНОВИЧ, научный руководитель канд. техн. наук Н. Ф. НЕВАР, БНТУ

АНАЛИЗ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РОТОРНО-ПОВОРОТНОЙ БАРАБАННОЙ ПЕЧИ

Проведен анализ работ и даны характеристики эксплуатации роторно-поворотной барабанной печи. Рассматривается технологический процесс плавки черных и цветных сплавов в роторно-поворотной печи.

Analysis of works is carried out and characteristics of operation of a rotor-tilting drum-type furnace are given. Technological process of melting of black and nonferrous alloys in a rotor-tilting furnace is considered.

Введение

Барабанные роторно-поворотные или роторные наклоняющиеся плавильные печи – это новый тип печей. Сегодня эти печи выходят на лидирующие позиции в металлургии вторичных цветных сплавов: при производстве алюминиевых, цинковых, свинцовых, медных и других сплавов из стружки, мелкого скрапа, шлама, шлака в том числе, и такие, как съемы с содержанием металла менее 20%, сильно окисленные отходы от дробления и пакетирования пищевых банок, фольги, мелкой стружки, которые в иных типах печей плавить неэффективно. Расширяется применение барабанных роторных печей 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. Термический КПД роторно-наклонных печей при переплавке стружки достигает 50–55%, что в 2–4 раза превышает термический КПД 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.

Роторно-наклонная печь дает возможность активного проведения всех металлургических процессов – восстановления, окисления, расплавления, перемешивания расплава, рафинирования, модифицирования и т. д. Кроме того, одна и та же печь может перерабатывать различные виды шихты – смешанные металлоотходы (скрап), загрязненную стружку и т. д. Наружные очертания ее напоминают бетономешалку. Печь имеет три отверстия: загрузочное, для отвода продуктов горения

и для выпуска металла. Роторная печь работает без топлива, оно необходимо только для разогревания печи после ремонта или в случае длительной остановки агрегата, чтобы предохранить от остывания рабочее пространство. Роторная печь очень экономична: не требует огромного помещения и длительных сроков строительства; стоимость установки намного меньше стоимости мартеновской печи; позволяет выплавлять сталь с широкими пределами содержания углерода.

Выход годного металла из роторной печи составляет значительно больший процент, чем при конверторном производстве стали, а кислорода расходуется гораздо меньше.

Обслуживают роторную печь всего три человека. Вращается она медленно – от 0,1 до 4,0 об/мин. При плавке стали в разогретую печь загружают руду и известь, затем заливают жидкий чугун и в жидкую массу металла поверху подают кислород. От загрузки печи до выхода стали проходит 50–60 мин, следовательно, роторная печь позволяет производить не менее 24 плавков за сутки.

Анализ работы роторной печи

Традиционная барабанная роторная печь с фиксированной осью (БРП) представляет собой отработанную и экономичную технологию для плавки навалного лома, листов с покрытием и шлаков и обычно применяется в промышленности вторичного алюминия. Материал во вращающемся барабане, имеющем огнеупорное покрытие, плавится под слоем соли. Обычно она представляет собой смесь NaCl и KCl. Соль предохраняет металл от атмосферы печи и, тем самым, от его чрезмерного окисления и в результате от потери части металла. Благодаря вращению барабана печи крупнообъем-

ный лом и навалый материал перемешиваются и, тем самым, достигается хороший теплообмен между его частями, несмотря на наличие большого количества приграничных частиц. После завершения процесса плавления металл и соль сливаются через различные лётки, расположенные по окружности барабана печи.

Материал загружается в печь через отверстие расположенной вдоль оси печи. Принимая во внимание размер отверстия лётки, время от времени необходимо ее пробивать, чтобы слить металл. Слив соли представляет собой также определенную трудность, так как всегда надо быть уверенным, что соль находится в достаточно жидком состоянии для ее слива.

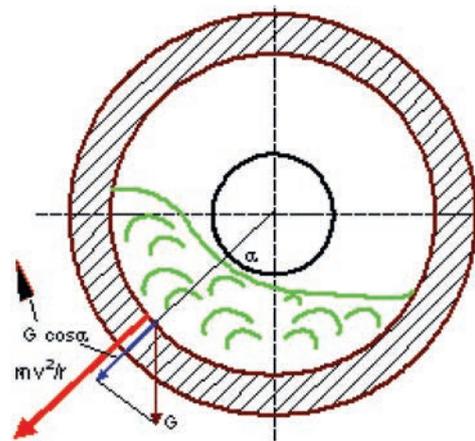
Для быстрой загрузки материала необходимо, чтобы загрузочное отверстие было достаточно большим. Однако при увеличении размеров загрузочного отверстия требуется также и увеличение диаметра барабана для обеспечения загрузки в печь такого же количества материала.

Роторно-поворотная барабанная печь (РПБП) была разработана с целью преодоления приведенных выше проблем. Применение очень большого загрузочного отверстия стало возможным благодаря тому, что барабан печи в состоянии опрокидываться назад. В процессе плавления барабан печи вращается в положении, опрокинутом назад. Для слива металла барабан печи переводится в горизонтальную позицию или несколько более наклоненную вперед, и металл стекает широким потоком в лотковую систему. После того, как слив металла закончен, шлак выгружается при несколько большем наклоне и медленно вращающемся барабане в контейнеры, установленные под отверстием печи.

Технологический процесс плавки черных и цветных сплавов в роторно-поворотной печи

БРП сконструирована для переработки навалыного материала, состоящего из небольших отдельных частиц. Крупногабаритный лом обычно перерабатывается в отражательных печах благодаря механизму передачи тепла. Тепло передается от атмосферы печи к металлу через поверхность каждой отдельной частицы металла и затем к самому блоку, тем самым, увеличивая его температуру до уровня плавления. Передача тепла – это функция, которую описывает коэффициент теплообмена α ; разница температур между атмосферой печи, температурой загруженного материала и поверхностью блока выражается коэффициентом электропроводности λ .

С увеличением скорости вращения перемешивание материала в барабане становится более ин-



Движение материала в РПБП

тенсивным. Из-за трения с поверхностью барабана материал поднимается на уровень, зависящий от скорости вращения, и каскадом падает на лежащий внизу материал, формируя, тем самым, новый верхний слой. На частички, расположенные в непосредственной близости от поверхности барабана (см. рисунок), действует радиальная сила N , возникающая от действия центробежной силы и радиального вектора массы:

$$N = \frac{mv^2}{r} - mg \cos \alpha .$$

Во время вращения барабана сила N вызывает трение между частицами материала и поверхностью барабана, в результате чего происходит прилипание частиц к поверхности барабана и их подъем и ускорение. С увеличением угла наклона α радиальная компонента массы становится меньше и негативной после того, как частицы перейдут через горизонтальную ось ($\alpha = 90^\circ, \cos \alpha = 0$). В зависимости от скорости, раньше или позже, частица теряет контакт с поверхностью барабана и по баллистической траектории падает вниз. Частицы, падающие вниз, создают собой форму каскада.

При критической скорости центробежная сила равна массе частицы. При такой скорости масса материала прилипает к внутренней поверхности барабана:

$$\frac{mv^2}{r} - mg .$$

В результате получаем

$$n = \frac{42,7}{\sqrt{D}} .$$

Данное равенство предлагает очень удобный способ для определения и сравнения результатов. В зависимости от степени наполнения приведен-

ные тесты на роторной печи показали наилучшие результаты в случае $n = \frac{10 - 27}{\sqrt{D}}$.

В роторно-поворотной печи осевая сила добавляется к навалному материалу. Это происходит благодаря углу наклона барабана, что заставляет материал продвигаться в конец барабана и затем снова вперед. Дополнительные движения усиливают процесс смешивания внутри навалного материала.

По мере того, как температура шихты повышается и приближается к точке плавления некоторых ликвидных фаз материала, которые могут быть металлом, солью или тем и другим, коэффициент трения снижается. Желаемое перемешивание материала в форме каскада может быть достигнуто в этом случае только при увеличении скорости вращения барабана.

После отправки последней порции материала в печь, т. е. когда печь загружена полностью, следует постепенно увеличивать скорость вращения барабана. После того, как алюминий уже расплавлен, рекомендуется выполнить следующие два различных действия.

1. Материал с более высоким содержанием оксидов должен перерабатываться на достаточно высокой скорости. Это помогает достичь хорошего свертывания расплавленных частиц металла. Благодаря достаточному содержанию неметаллических материалов в печи, а также наличию надежного покрытия представляется возможным снизить риск потерь в процессе плавления при контакте расплавленного металла с атмосферой.

2. Совершенно противоположная ситуация с материалом, имеющим незначительное количество оксидов. Образуется лишь тонкий защитный слой, от которого не следует избавляться. Это соответствует условиям плавления металла в отражательной печи. В этом случае скорость вращения барабана должна быть установлена от 0,5 до 1,0 об/мин.

Процесс теплообмена в печи состоит из трех компонентов:

1. Передача тепла происходит путем конвекции от горячих летучих газов поверхности барабана к расплаву соли и металла и выражается следующим равенством:

$$q_c = a_g (\delta_g - \delta_b),$$

где q_c – удельный нагрев фактической поверхности печи. Коэффициент a_g зависит от скорости газов. Газы с высокой скоростью увеличивают a_g .

2. Излучение горячих летучих газов происходит только при помощи водяного пара и оксида углерода. Азот не выделяет энергии, но его нали-

чие очень важно для передачи тепла путем конвекции. Для тепла, переданного расплаву в печи и поверхности барабана печи, и, как результат, отражение тепла от поверхности к расплаву, передача тепла выражается следующим равенством:

для CO_2 :

$$q_{s\text{CO}_2} = 4,1 \varepsilon \rho^{0,3} s^{0,3} \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^{3,5} - \left(\frac{T_b}{100} \right)^{3,5} \right];$$

для H_2O :

$$q_{s\text{H}_2\text{O}} = 41 \varepsilon \rho^{0,8} s^{0,6} \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^{3,5} - \left(\frac{T_b}{100} \right)^{3,5} \right],$$

где q_s – удельный нагрев фактической поверхности пространства печи; ε – коэффициент эмиссии; ρ – парциальное давление (или содержание газа при атмосферном давлении), s – толщина пламени; T_m – температура газа; T_b – температура расплава. Общее тепло, переданное излучением газа, приблизительно является суммой обеих долей.

3. Передача тепла между внутренней поверхностью барабана печи и покрывающим ее материалом выражается следующим равенством:

$$q_w = k_w (v_w - v_b),$$

где q_w – тепло, переданное от поверхности барабана на 1 м^2 фактической площади; k_w – коэффициент теплопередачи для системы поверхность–материал; v_w, v_b – соответственно температуры поверхности или шихты. Благодаря вращению барабана часть стены всегда покрыта материалом. Так как температура внутренней поверхности барабана выше, чем температура расплава, некоторая часть тепла передается от стены к материалу.

Соль используется для различных целей. Как указывалось выше, основная задача соли – покрытие кусков алюминия для предохранения их от влияния атмосферы печи с целью минимизации окисления этого металла. Достижение этой цели требует наличия достаточных количеств соли. При использовании роторно-поворотной печи расход соли уменьшается на 30% по сравнению с печью с постоянной осью, так как в наклонном положении контактная поверхность сырья в печи уменьшается.

Каждая частичка металла благодаря высокой способности алюминия окисляться покрывается тонким слоем оксидной пленки. Задача соли – разрушение этой пленки после завершения процесса плавления. Жидкие капли, возникшие в процессе плавления, должны коагулировать и превратиться в расплав жидкого металла. Использование соли должно обеспечить возникновение этого эффекта.

В дополнение к сказанному следует отметить, что перемещение расплава внутри вращающегося барабана также способствует процессу коагуляции. Соль абсорбирует или убирает загрязнение металла.

Приграничные явления играют важную роль в вопросах результативности влияния соли. Они зависят от температуры, точки плавления, вязкости, химической активности соли и состава металла, а также состава соли. Обычно используется смесь NaCl и KCl с добавлением NaF или Na_3AlF_6 . Из-за низкой температуры плавления плавильщики в США предпочитают использовать эквимольную смесь NaCl и KCl (44%NaCl и 56%KCl), в то время как в Европе используется смесь 70%NaCl и 30%KCl. Использование такой смеси базируется скорее на полученных практических результатах, чем на научном подходе. Тем не менее, система кругооборота шлака и рафинированной соли основывается на такой смеси.

Преимущество технологического процесса в роторно-поворотной печи заключается в том, что смесь имеет более высокую точку плавления, чем эквимольная смесь.

Применяются два технологических процесса в работе барабанной печи: технология мокрой соли и технология сухой соли. В роторно-поворотных печах в основном используется сухая технология. Теоретически при такой технологии точка плавления соли ниже температуры слива металла, т. е. соль остается «сухой». Поэтому процесс чистки и коагуляции происходит не полностью. Несмотря на то что существует наличие определенной жидкой фазы, эти реакции не завершаются полностью.

Наиболее важной задачей остается сдерживание процесса окисления. По этой причине необходимо загружать достаточное количество соли. В основном количество соли определяется исходя из применения, так называемого коэффициента соли:

$$G_{\text{соль}} = G_{\text{шихта}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{выход}}}{100} \right) f_{\text{соль}},$$

где, $G_{\text{соль}}$ – требуемое количество соли; $G_{\text{шихта}}$ – масса загружаемого металла; $\eta_{\text{выход}}$ – ожидаемый выход металла в соответствии с пробной плавкой; $f_{\text{соль}}$ – коэффициент соли. Таким образом, коэффициент соли указывает, сколько соли необходимо добавить на единицу массы имеющихся в ломе загрязнений. Обычно коэффициент соли от 0,5 до 1,5 рекомендуют для барабанной печи с неподвижной осью вращения, в то время как коэффициент соли от 0,5 до 1,0 является типичным для роторно-поворотной печи.

По данным разработчиков и производителей наклонных роторных печей [1–3], технико-экономические показатели в сравнении со стационарными плавильными агрегатами следующие:

- 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.

Выводы

Барабанная роторная печь (БРП) представляет собой отработанную и экономичную технологию для плавки навалного лома, листов с покрытием и шлаков и обычно применяется в промышленности вторичного алюминия. Благодаря вращению барабана печи крупнообъемный лом и навалный материал перемешиваются и, тем самым, достигается хороший теплообмен между его частями, несмотря на наличие большого количества приграничных частиц. Термический КПД роторно-наклонных печей при переплавке стружки достигает 50–55%, что в 2–4 раза превышает термический КПД индукционных, дуговых печей, печей отражательного типа и др. Такая печь дает возможность активного проведения всех металлургических процессов – восстановления, окисления, расплавления, перемешивания расплава, рафинирования, модифицирования и т. д.

Литература

1. Роторно-поворотная барабанная печь: современная технология в производстве вторичного алюминия / К. Шмитц. <http://www.ruscastings.ru>.
2. Роторно-наклонные печи компании / Е. Н. Демин. www.spetsogneupor.ru.
3. Газопламенная роторная печь для плавки серого и высокопрочного чугуна. <http://spetslittech.ru>.