

*к.т.н. Русанов И.Ф.,
Лупанов Д.В.,
к.т.н. Эссельбах В.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Проведено аналіз економічної та технологічної ефективності використання чавунної стружки у верхньому шарі шихти і прибортовій зоні агломераційної машини. Показано, що реалізація такої технології сприяє поліпшенню теплового балансу процесу агломерації, підвищенню якості та виходу придатного агломерату.

Ключові слова: *агломерація, шихта, чавунна стружка, прибортовий шар, додаткове тепло, спікання, якість агломерату, вихід придатного.*

Проведен анализ экономической и технологической эффективности использования чугунной стружки в верхнем слое шихты и прибортовой зоне агломашины. Показано, что реализация такой технологии способствует улучшению теплового баланса процесса агломерации, повышению качества и выхода годного агломерата.

Ключевые слова: *агломерация, шихта, чугунная стружка, прибортовой слой, дополнительное тепло, спекание, качество агломерата, выход годного.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Среди многочисленных техногенных отходов не последнее место занимает чугунная стружка, которая является ценным вторичным сырьем для металлургического производства и требует рациональной утилизации.

В настоящее время чугунная стружка в небольших количествах используется при производстве брикетов. Организация производства брикетов требует значительных материальных затрат. Кроме того, при брикетировании стружки требуется определенная ее подготовка (в основном это удаление остатков смазочно-охлаждающей жидкости).

В то же время, как показывает опыт использования мелких фракций металлического железа, а к таким фракциям относится и чугунная

стружка, при агломерации железорудных материалов, открываются новые возможности повышения качества агломерата и производительности агломерационных машин.

В связи с этим возникает проблема перехода на новую технологию агломерации с использованием чугушной стружки.

Анализ исследований и публикаций.

Исследованию процесса агломерации с вводом в шихту отходов, содержащих металлическое железо стали уделять внимание в связи с началом разработки шлаковых отвалов мартеновского шлака. Такая переработка ведется, в частности, на шлаковом отвале ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК») предприятием ООО «Интерпром». При комплексной переработке отвала выделяется обогащенный продукт крупностью менее 10 мм, который содержит 30-40 % металлического железа при общем содержании его свыше 50 %.

Подробное описание исследований свойств этого продукта и влияния его ввода в шихту на ход и показатели агломерационного процесса приведено в работе [1].

Особенности спекания агломерата из шихты, в состав которой вводится металлическое железо, описаны в работе [2]. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что ввод в агломерационную шихту металлического железа в результате практически полного его окисления приводит к повышению теплового уровня процесса спекания. При этом повышается качество агломерата и возрастает производительность агломерационной машины.

Постановка задачи. В работе была поставлена задача: используя особенности поведения металлического железа в условиях агломерации, улучшить качество агломерата верхнего слоя и прибортовой зоны агломашин путем ввода в шихту этих зон чугушной стружки.

Изложение материала и его результаты.

Общеизвестно, что верхний слой спекаемой шихты испытывает недостаток тепла даже при его дополнительном нагреве. Особенно это ощущается в условиях дефицита энергетических ресурсов. Так, например, на агломерационной фабрике ПАО «АМК» на зажигание и дополнительный нагрев спекаемого слоя расходуется 210-220 МДж/т агломерата, при рекомендуемом его расходе 330-400 МДж/т агломерата. При этом слой недополучает около 30-35 % необходимого тепла.

Сложившаяся к настоящему времени ситуация требует поиска новых технологических решений направленных на улучшение спекания шихты верхнего слоя.

В ДонГТУ, после проведения соответствующих расчетов и опытных спеканий агломерата, предложено недостаток тепла в верхней части спекаемого слоя компенсировать теплом, выделяющимся при окис-

лении металлического железа. При этом металлическое железо вводится в поверхностный слой шихты толщиной равной 1-2 зонам горения, то есть 20-50 мм.

Для ввода в аглошихту наиболее целесообразно использовать мелкую чугунную стружку крупностью до 3 мм. Чугунная стружка при этом будет утилизироваться с максимальной эффективностью.

Как следует из термодинамики окисления железа и его оксидов, в агломерационном процессе имеются все условия для окисления металлического железа. Фактическое парциальное давление кислорода в газе после зажигания шихты намного выше равновесного. В таких условиях введенная в верхний слой шихты стружка интенсивно окисляется остаточным кислородом горновых газов (обычно в газах содержится 2-9 % кислорода) с выделением большого количества тепла, (при окислении 1 кг стружки выделяется свыше 7000 кДж тепла, что эквивалентно сжиганию 0,24 кг условного топлива). Следует также учитывать, что при введении 1 кг стружки на 1 т шихты содержание железа в агломерате возрастает на 0,08-0,10 %.

Экспериментальные спекания с вводом чугунной стружки в верхний слой спекаемого материала подтвердили ее окисление со значительным тепловым эффектом. Спекания проводились в лабораторной чаше диаметром 150 мм и высотой 400 мм. Высота слоя составляла 320 мм. Зажигание проводилось горелкой факельного типа в течение 1 мин, при этом для лучшего зажигания на верхний слой подавалось дополнительное количество твердого топлива. Разрежение под колосниковой решеткой при зажигании составляло 8000 Па, а в процессе спекания – 10000 Па. Во время спекания на 4-х горизонтах, отстоящих от колосниковой решетки на 50, 110, 180 и 250 мм, измерялась температура в осевой зоне слоя.

При спекании обычной для ПАО «АМК» шихты основностью 1,25, состоящей из железорудной смеси (20 % аглоруды и 80 % железорудного концентрата), топлива в количестве 4,5 %, а также флюса и возврата, температура в нижних слоях доходила до 1350-1400 °С, а в верхнем слое она составляла всего 750-800 °С.

Для определения «чистого» влияния стружки на подогрев шихты сначала в чашу загружался возврат крупностью 5-10 мм до отметки расположенной на 20 мм выше уровня ввода верхней термопары. Затем на слой возврата укладывалась обычная окомкованная шихта, толщиной слоя 50 мм. В процессе укладки шихты в слой равномерно вводилась чугунная стружка в количестве от 10 до 50 % от веса шихты. Зажигание шихты со стружкой осуществляли в течение 1 мин. В ходе спекания непрерывно измеряли температуру по оси слоя в верхней его части (горизонт 250 мм).

В результате проведенных исследований установлено, что ввод чугунной стружки в шихту оказывает существенное влияние на тепловой уровень процесса. Так максимальная температура в слое при вводе стружки в количестве 10 % от массы шихты повысилась до 940 °С, а при увеличении количества стружки до 20 % она уже достигала 1180 °С. При спекании шихты с содержанием стружки в слое 40-50 % температура повышалась до 1550 °С, а в некоторых спеканиях и до 1580 °С. В результате при вводе такого количества стружки в слой ниже расположенный возврат спекался без топлива на глубину 50-60 мм, образуя прочный агломерат.

Время пребывания материалов в зоне высоких температур возрастает практически линейно количеству стружки в шихте (10 % – 30 сек; 20 % – 80 сек; 40 % – 180 сек; 50 % – 230 сек), что указывает на возрастание теплового уровня процесса за счёт окисления металлического железа и создает условия для формирования прочного спека.

Ввод чугунной стружки в количествах (до 20 %) практически не влияет на время достижения шихтой максимальной температуры, но при содержании в верхнем слое значительного количества чугунной стружки оно существенно возрастает, – более чем в два раза. При значительных (более 40 %) количествах чугунной стружки в слое не всё её количество окисляется, и в спеченном агломерате наблюдаются видимые металлические включения, представленные не спеченной или сформировавшей плотную корку, чугунной стружкой.

Наблюдаемое увеличение времени достижения максимальной температуры в месте её контроля, очевидно, вызвано тем, что при введении стружки в слой лимитирующим звеном процесса являются условия окисления металла, в первую очередь количество кислорода (или соотношение «кислород – металл») и отвод продуктов окисления. В результате анализа полученных данных установлено, что скорость окисления чугунной стружки в условиях опытов составляла 0,05-0,06 г/мин·см³ слоя. Отсюда следует, что для сохранения скорости спекания на прежнем уровне содержание стружки в поверхностном слое должно быть не более 5-8 %, что подтверждает нецелесообразность спекания агломерата с содержанием 40 и 50 % стружки. Вместе с тем при проведении эксперимента, не смотря на полученное расчетным методом оптимальное содержание стружки в верхнем слое, не замечено существенного увеличения времени достижения максимальной температуры и при 20 % стружки в верхнем слое. Как следствие, по результатам экспериментов следует признать максимальным ввод стружки в количестве до 20 %.

Следует иметь в виду, что тепло, выделяющееся в результате окисления стружки, практически полностью расходуется на нагрев слоя.

В результате расчета теплового баланса, для шихтовых условий ПАО «АМК» установлено, что недостаток тепла в верхнем слое шихты при спекании агломерата по обычной технологии составляет 20-25 %. При вводе в верхний слой чугунной стружки из расчета 10-15 кг/т шихты этот недостаток может быть полностью компенсирован.

Содержание мелочи в готовом агломерате в значительной мере определяется условиями спекания агломерационной шихты у бортов спекательных тележек, где проявляется так называемый «пристеночный эффект».

Проблеме улучшения качества агломерата, спеченного в прибортовой зоне агломашины, уделяется большое внимание. Все известные предложения позволяют в той или иной мере решить проблему улучшения условий спекания агломерата в прибортовой зоне. Однако при этом вопрос тепловой нагрузки в прибортовой зоне решен

не полностью, что не позволяет свести на нет негативное влияние условий спекания агломерата в этой зоне на его качество.

Пористость слоя прибортовой зоны может быть снижена путем ввода в слой любого мелкого материала, например, агломерационной руды. Однако при этом удастся лишь выровнять скорость движения воздуха в слое по ширине машины без компенсации потерь тепла через борта спекательных тележек. В результате проблема получения качественного агломерата в прибортовой зоне будет решена не в полной мере.

Для увеличения тепловой нагрузки в слой необходимо вводить не инертный материал, а какой-либо теплоноситель. В частности таким материалом может быть мелкая чугунная стружка. Соответствующие расчеты показали, что максимальное количество вводимой стружки, которое может быть введено в слой составляет около 18 % от массы шихты в прибортовой зоне.

С целью определения влияния ввода стружки в прибортовую зону спекаемого слоя на ход и результаты процесса агломерации в лаборатории ДонГТУ проведены специальные исследования.

При проведении исследований в центральную часть установки загружалась обычная агломерационная шихта, а в прибортовую – шихта, содержащая чугунную стружку. Спекания проводились в цилиндрической чаше диаметром 0,2 м и высотой 0,4 м. Стружка вводилась в прибортовое кольцо шириной 0,01 м в количестве 10-20 % от общей массы шихты загруженной в эту кольцевую зону.

Насыпная масса шихты со стружкой возрастала пропорционально ее количеству в шихте. Если насыпная масса шихты без стружки равнялась 1870 кг/м^3 , то при введении в нее стружки в количестве 0,1 и 0,2 от массы шихты ее насыпная масса в условиях опытов была равна 2170 и 2450 кг/м^3 соответственно. Учитывая, что стружка не участвовала в

процессе окомкования шихты, а вводилась в слой непосредственно при загрузке шихты в установку, увеличение насыпной массы приводило к снижению пористости слоя в прибортовой зоне. Обычно пористость слоя агломерационной шихты равна $0,47-0,54 \text{ м}^3/\text{м}^3$. В прибортовой зоне она выше на $0,05-0,07 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

В результате проведенных исследований установлено, что шихта прибортовой зоны после ввода в слой стружки спекается примерно в таких же условиях, как и шихта в центральной части установки. Ввод стружки в прибортовую зону способствует выравниванию температуры по сечению спекаемого слоя. Если при обычном спекании температура в прибортовой зоне не превышала $600-700 \text{ }^\circ\text{C}$, то при вводе стружки она была близка к температуре в центре чаши (возросла до $1200-1250 \text{ }^\circ\text{C}$).

Повышение температуры в прибортовой зоне явилось следствием окисления чугунной стружки.

При вводе чугунной стружки в прибортовую зону выход годного агломерата крупностью более 5 мм возрастал пропорционально количеству введенной стружки, – на 1-2 %.

В результате прочность агломерата по всей установке стала примерно одинакова.

Разработанная технология опробована в аглоцехе ПАО «АМК». При этом порядок проведения экспериментов был следующий.

Вначале, во время кратковременной остановки агломашины, перед зажигательным горном в слой у одного из бортов спекательной тележки на глубину 150 мм был заглублен в шихту П-образный стальной лист толщиной 1 мм. Лист ограничивал возле борта тележки прямоугольную зону шириной 100 мм и длиной 350 мм.

Спекание агломерата во время проведения эксперимента проводилось при вакууме 840 мм вод. ст., скорости движения аглоленты $1,5 \text{ м/мин}$ и высоте слоя 350 мм. Температура в зажигательном горне была равна $1020 \text{ }^\circ\text{C}$.

После завершения процесса агломерации и выхода тележки с экспериментальным спеком в зону охлаждения производилось извлечение куска, ограниченного П-образным листом, для проведения исследований. При извлечении спека из ограниченной зоны было установлено, что реально можно извлечь спек на глубину не более 150 мм. Поэтому в последующих двух опытных спеканиях стружка загружалась в слой толщиной не более этой величины.

В этих опытных спеканиях чугунная стружка вводилась в слой в количестве 1 и 2 кг, что в пересчёте на всю спекаемую аглошихту при двухсторонней загрузке составит приблизительно 0,3 % и 0,6 % соответственно. Загрузка заданного количества стружки производилась на тележку вдоль борта на глубину приблизительно 150 мм и ширину при-

близительно 100 мм. Загрузку стружки проводили по возможности равномерно, а после загрузки обязательно перемешивали стружку с шихтой для предотвращения образования плотной корки на поверхности спека. После загрузки стружки, в шихту заглублялся П-образный лист.

Следует отметить, что во всех трёх спеканиях стальной П-образный лист в ходе агломерации шихты с глубины приблизительно 20 мм полностью окислился. Включений чугуновой стружки при осмотре спека также не было обнаружено.

После извлечения спека проводился его рассев на ситах 3 и 5 мм и готовились пробы для химического анализа. Результаты отсева спеков показали, что выход фракции + 5 мм при вводе в прибортовую зону чугуновой стружки увеличивается пропорционально ее количеству. При этом прирост выхода фракции в условиях эксперимента составлял примерно 0,5 % на каждый кг введенной стружки.

Изменение количества фракции + 5 мм, явилось следствием повышения температурного уровня в прибортовой зоне, которое повлияло также и на изменение химического состава полученного агломерата.

Полученные данные позволяют полагать, что при полномасштабном внедрении предложенной технологии выход годного агломерата возрастет на 1,2-2,0 %.

При вводе в слой чугуновой стружки содержание Fe в агломерате возрастает пропорционально количеству введенной стружки. В условиях опытов содержание железа в спеке прибортовой зоны возрастало на 1 % на каждый кг введенной стружки. В пересчете на весь агломерат рост содержания железа в нем составит 0,1-0,2 %.

Содержание FeO в спеке возрастает также пропорционально количеству введенной стружки, что является следствием окисления металлического железа. Характерно, что при увеличении расхода стружки относительно в большей степени металлическое железо окисляется до FeO. Если при вводе в слой 1 кг стружки до FeO окислилось 58,7 % железа (остальное окислилось до Fe₂O₃), то при вводе 2 кг стружки – 75,2 % соответственно.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Результаты проведенных исследований показывают, что ввод чугуновой стружки в поверхностный слой аглошихты или в прибортовую зону является эффективным средством улучшения качества и повышения выхода годного агломерата. Привлекательным в представленных технологиях является также то, что для их реализации в промышленности не требуются большие инвестиции.

В дальнейшем планируется опробовать предложенные технологии в производственных условиях в полном объеме, и разработать техническую документацию для их внедрения в производство.

Библиографический список

1. Петрушов С.Н. Перспективы разработки техногенных месторождений на примере переработки шлаков сталеплавильного производства Алчевского меткомбината / [Петрушов С.Н., Русанов И.Ф., Русанов Р.И. и др.]. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 4. – С. 123-125.

2. Петрушов С.Н. Особенности спекания агломерата из шихты, содержащей металлическое железо / С.Н. Петрушов, И.Ф. Русанов, Р.И. Русанов, Д.В. Лупанов // *Сборник научных трудов ДонГТУ*, вып. 19. - 2005. – С. 142-149.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.