



The original method of thermal cleaning of metal chips using high-frequency electromagnetic field was tested on the results of the carried out experimental-research works.

П. С. ГУРЧЕНКО, М. И. ДЕМИН, А. И. МИХЛЮК, А. М. СКИБАРЬ, РУП «МАЗ»

УДК 621.74

ПЕРЕРАБОТКА СТАЛЬНОЙ И ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ НА РУП «МАЗ»

Развитие промышленности в Республике Беларусь и наращивание объемов выпуска продукции на предприятиях машиностроительного комплекса неизбежно связано с образованием отходов черных и цветных металлов и в частности стружки черных металлов. Только за 2005 г. по республике образовалось более 150 тыс. т стальной углеродистой стружки и около 45 тыс. т чугунной стружки. Поэтому проблема эффективного повторного использования стальной и чугунной стружки в качестве металлошихты для производства отливок или стального проката является крайне актуальной.

Вместе с тем стружка как шихтовой материал по сравнению с габаритным ломом при выплавке металла в литейных печи имеет ряд недостатков: увеличение расхода ТЭР на производство годных отливок; повышенный угар металла и легирующих элементов при проведении процесса плавки; ухудшение экологической обстановки в районе плавильного агрегата от сжигания масел и СОЖ, находящихся в стружке.

Целый ряд промышленных предприятий активно работают над технологиями эффективного повторного использования стружки.

Современные способы повышения удельного веса стальной и чугунной стружки.

Для того чтобы использовать стружку в качестве шихтового материала, требуется проведение специальных подготовительных операций, направленных на увеличение удельного веса стружки: сепарирование, дробление и брикетирование. Это связано с тем, что использование насыпной стружки при плавке различными способами приводит к высокому ее угару от 35 до 80%.

Сепарирование. Операция предназначена для очистки стружки от кусковых отходов, лома и других посторонних предметов. Для сепарирования стружки в промышленности в основном используют барабанные грохоты, обеспечивающие производительность от 5 до 8 т/ч.

Дробление. Операция предназначена для измельчения стружки перед последующими операциями. Дробление стружки проводят ножами, износостойкими молотками и дроблением стружки в валках.

Брикетирование. Основная операция по увеличению удельного веса стружки. Для получения товарного продукта, пригодного для использования в качестве сырья металлургической промышленности, брикет должен соответствовать ряду требований:

- не должен содержать вредных для металлургического процесса примесей элементов сверх допустимого уровня;
- обладать прочностью, достаточной для транспортировки и перевалки;
- сохранять прочность при увлажнении при транспортировке;
- обладать прочностью при высоких температурах;
- иметь однородный химический состав;
- обладать однородностью линейных размеров кусков;
- иметь низкую себестоимость.

Существует целый ряд промышленно освоенных технологий брикетирования: непрерывное брикетирование в открытой матрице; холодное брикетирование на специализированных прессах; вибропрессование с использованием связующего; горячее брикетирование под молотом; электрофизический метод брикетирования; брикетирование взрывом; окомковывание металлической стружки.

Несмотря на широкое разнообразие способов переработки стружки, самой технологически трудной операцией является очистка стружки от влаги и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Все известные ранее способы очистки стружки можно разделить на холодную и горячую очистку. Эти способы имеют существенные недостатки: сложность технологии, низкая производительность, большие габариты оборудования.

На РУП «МАЗ» был разработан и успешно опробован способ очистки металлической стружки от СОЖ и других органических примесей путем интенсивного термического нагрева с применением высокочастотного электромагнитного поля непрерывно движущегося потока металлической стружки в наклонном металлическом вращающемся барабане. Суть разработанного способа заключается в следующем (рис. 1).

Производится индукционный нагрев наклонного вращающегося барабана 1 до заданной температуры, затем в него непрерывно подается металлическая стружка 2, которая постоянно перемешивается и одновременно перемещается вдоль нагретого барабана. Движущийся в трубе поток металлической стружки нагревается одновременно за счет контакта нагреваемых частиц стружки с разогретой поверхностью трубы, теплового излучения от этой трубы и теплообмена с разогретой атмосферой, а также под воздействием на этот поток электромагнитного поля 3 от индуктора 4. При перемешивании непрерывно движущегося потока стружки во вращающейся металлической трубе обеспечивается интенсивный и равномерный нагрев стружки выше температур испарения влаги и пиролиза органических примесей и загрязнений, что приводит к ее очистке путем интенсивного испарения и выгорания остатков влаги, СОЖ, нефтепродуктов и других органических примесей. Очищенную таким образом стружку можно использовать далее для различных технологических нужд, например для последующего брикетирования или в качестве готовой шихты при плавке металла.

Были проведены исследования основных закономерностей нагрева мелких металлических изделий, каковой является единичная металлическая стружка по предложенному методу. С помощью хромель-алюмелевой термопары были произведены записи изменения температуры нагрева одной частицы при различных вариантах ее нахождения в движущемся потоке в барабане.

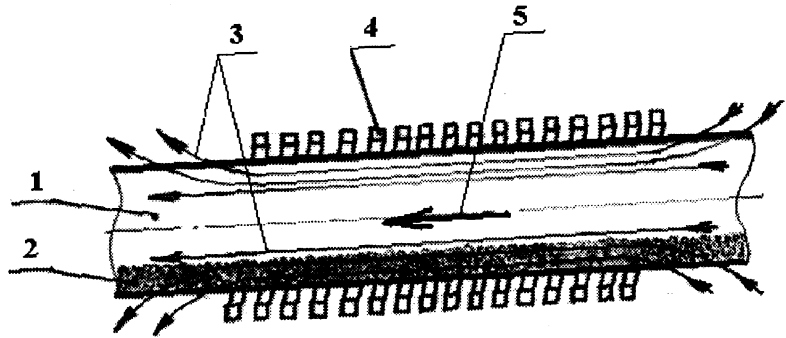


Рис. 1. Способ термоочистки металлической стружки с применением высокочастотного электромагнитного поля: 1 – наклонный барабан; 2 – поток движущейся стружки; 3 – линии электромагнитного поля; 4 – индуктор; 5 – направление движения потока стружки

На рис. 2 приведены варианты нахождения частицы в барабане.

По первому варианту (рис. 2, а) моделировали прохождение частицы при постоянном контакте с нагретой поверхностью – частица постоянно лежит на поверхности барабана. По второму варианту (рис. 2, б) моделировали прохождение частицы без контакта с нагретой поверхностью – частица постоянно лежит на поверхности потока. При этом высота нахождения частицы над поверхностью трубы равна высоте потока частиц в трубе. По третьему варианту (рис. 2, в) моделировали прохождение частицы в нагретой трубе внутри потока – частица не контактирует с нагретой поверхностью трубы и не попадает на поверхность потока.

На рис. 3 показаны кривые нагрева единичной металлической частицы по описанным выше вариантам, записанные с помощью хромель-алюмелевой термопары при частоте вращения барабана 60 об/мин.

Была проведена серия экспериментов при нагреве потока частиц при различной частоте вращения трубы: 60, 45, 30 об/мин.

Из анализа полученных результатов видно, что в зависимости от места нахождения дробинки в потоке скорость ее нагрева различная. Наибольшая скорость нагрева наблюдается для частицы, находящейся в постоянном контакте с нагреваемой трубой (см. рис. 2, а). Это объясняется наличием постоянного контакта нагреваемой частицы

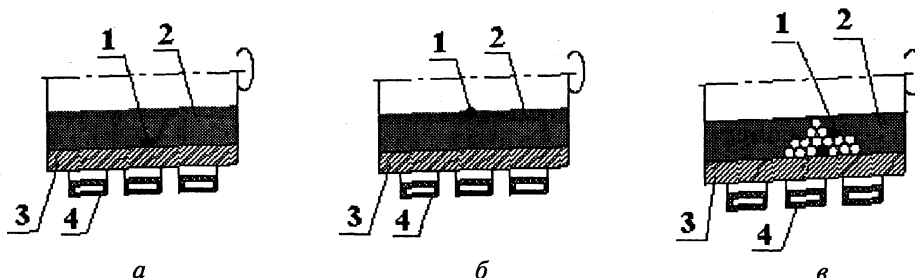


Рис. 2. Варианты нагрева единичной частицы: а – частица на поверхности барабана; б – частица на поверхности потока; в – частица внутри потока; 1 – частица; 2 – поток; 3 – барабан; 4 – индуктор

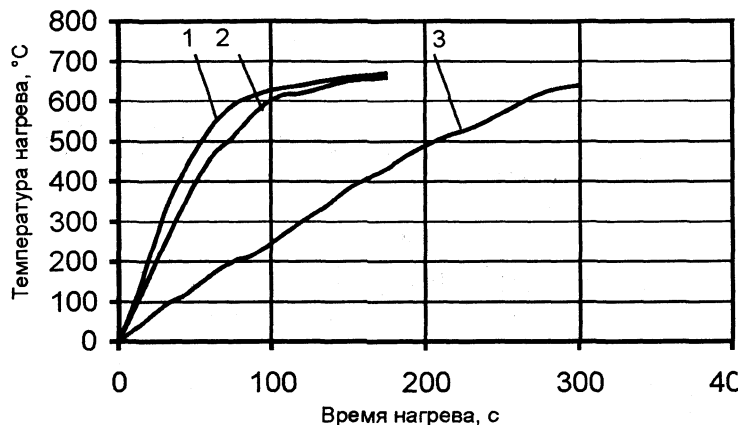


Рис. 3. Кривые нагрева единичной металлической частицы при различных условиях нагрева: 1 – нагрев частицы на поверхности барабана; 2 – нагрев частицы на поверхности потока; 3 – нагрев частицы в потоке частиц

с горячей трубой. При нахождении дробинки на поверхности потока (см. рис. 2, б) скорость меньше, но незначительно отличается от первого варианта. Это объясняется малой поверхностью соприкосновения с другими частицами и большой интенсивностью конвективного нагрева. Наименьшая скорость нагрева для частиц, находящихся внутри потока (см. рис. 2, в). Эти частицы находятся в постоянном контакте друг с другом, не контактируют с нагретой трубой и для них затруднен конвективный нагрев.

Чем выше скорость вращения трубы, тем выше интенсивность перемешивания частиц и выше теплообмен между ними, что приводит к ускоренному нагреву. Но при этом следует учитывать, что при высоких оборотах вращения трубы увеличивается скорость движения частиц вдоль трубы, что сокращает время нахождения их в трубе.

Вместе с тем за счет интенсивного теплообмена частиц внутри барабана происходит выравнивание температуры нагрева частиц при обеспечении минимальной длины зоны нагрева 1200–1400 мм. Было установлено, что каждый из конструктивных и технологических параметров (диаметр, длина, скорость вращения, угол наклона барабана, а также мощность и частота подводимого тока) влияют на температуру и скорость нагрева потока частиц и могут быть оптимизированы под конкретную технологическую задачу.

Установлены закономерности удаления влаги, СОЖ и других органических примесей в процессе интенсивного нагрева в электромагнитном поле высокой частоты. При увеличении угла наклона барабана сокращается время нахождения

стружки в зоне интенсивного нагрева и удаления продуктов пиролиза органических веществ. С увеличением или уменьшением мощности на индукторе ТВЧ соответственно изменяются температура нагрева барабана, температура нагрева стружки и, как следствие, интенсивность испарения и выгорания СОЖ как основной органической примеси в стружке. На рис. 4 показаны зависимости содержания остаточной СОЖ от времени нахождения стружки в нагретом барабане. Состав большинства СОЖ, загрязняющих стружку, представляет собой смесь воды, специальных добавок и масла в количестве до 30%. Температура вспышки масел, входящих в состав СОЖ, находится в пределах 170–200 °С, поэтому нагрев стружки в трубе до

температуры 180 °С приводит к полному испарению воды и частичному удалению масла (поз. 1). Повышение температуры нагрева стружки в трубе выше температуры 200 °С приводит к полному удалению СОЖ из стружки. Причем, чем выше температура нагрева стружки, тем интенсивнее идет процесс удаления СОЖ (поз. 2–4).

Были выполнены металлографические исследования стальной стружки в состоянии поставки и прошедшей термоочистку по разработанному способу.

Микроструктура стружки стальной без термоочистки – перлит сорбитообразный + феррит. Обезуглерожженный слой отсутствует. Наблюдается текстура деформации. Твердость 286HV (~285НВ).

Микроструктура стружки стальной после термоочистки – перлит в стадии сфероидизации + феррит. Обезуглерожженный слой отсутствует. Наблюдается текстура деформации. Твердость 192–210HV (~192–212НВ).

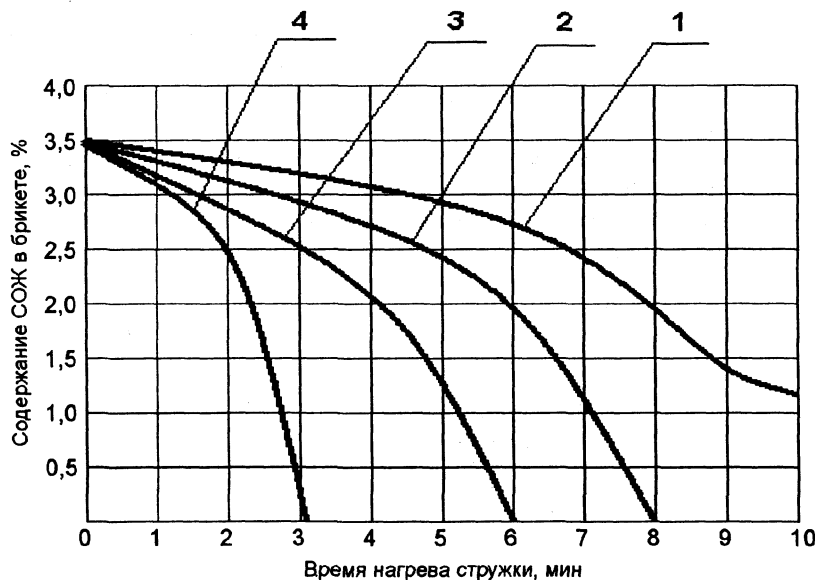


Рис. 4. Зависимость содержания СОЖ в стружке от температуры ее нагрева: 1 – 180 °С; 2 – 300; 3 – 500; 4 – 700 °С

На рис. 5 показаны микроструктуры исследуемой стружки.

Установлено, что операция термоочистки по разработанному способу обеспечивает наряду с

удалением остатков влаги и СОЖ снижение твердости и изменение микроструктуры. При этом не происходит образования обезуглероженного слоя.

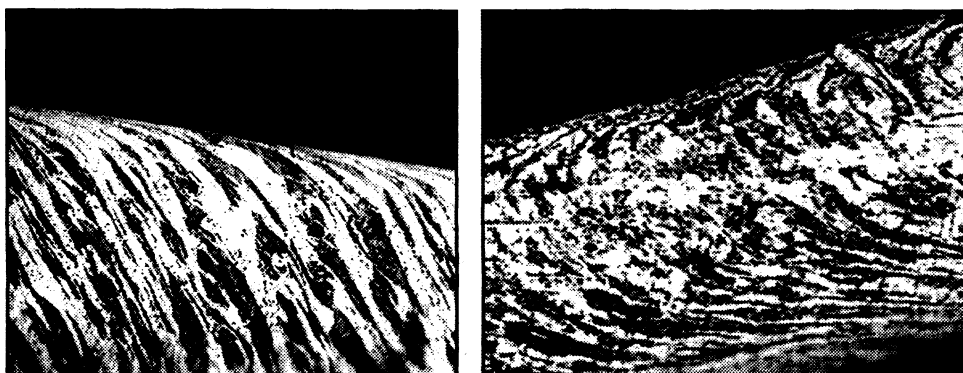


Рис. 5. Микроструктура стальной стружки: а – без термоочистки; б – после термоочистки. х500

Выполнено брикетирование опытных партий очищенной стружки по предлагаемому способу. Стружку подавали в штамп пневматического прессы конструкции РУП «МАЗ» усилием 5,3 т. Размеры рабочей камеры прессы были рассчитаны из условия создания равнозначного удельного давления, создаваемого в рабочей камере гидравлического брикетировочного прессы мод. Б6238, применяемого на РУП «МАЗ» для холодного брикетирования стружки.

Брикетирование стружки осуществляли при различной температуре ее нагрева. На рис. 6 показаны зависимости получаемой плотности брикетов от температуры стружки при прессовании. Установлено, что с увеличением температуры стружки при брикетировании плотность брикетов повышается (поз. 2, 3). Брикетирование остывшей стружки после нагрева в наклонной трубе, помещенной в электромагнитное поле высокой частоты, позволяет получить более высокую плотность брикетов (в 1,1–1,15 раза) по сравнению со стружкой, не прошедшей нагрев (поз. 1).

В настоящее время на РУП «МАЗ» проводятся работы по освоению технологии подготовки и брикетирования стружки с применением разработанного способа термоочистки (рис. 7).

Способ осуществляется следующим образом. Стружка 1 после предварительного отсева и удаления посторонних предметов подается в бункер 2, далее валками дробилки 3 осуществляется измельчение ее до максимального размера не более 12 мм. Измельченная стружка по подающему лотку 4 подается во вращающийся гладкостенный барабан 5, предваритель-

но нагретый до температуры 500–800 °С электромагнитным полем высокой частоты индуктора б. Поток стружки 7, непрерывно перемешиваясь, нагревается до заданной температуры и одновременно перемещается вдоль нагретого гладкостенного барабана в сторону выгрузки. Продукты испарения и пиролиза удаляются в устройство нейтрализации 8. Нагрев стружки под очистку при этом осуществляется комплексно:

- электромагнитным полем высокой частоты, находящимся внутри нагретой трубы;
- теплопроводностью при контакте холодной стружки с нагретой поверхностью трубы;
- теплопроводностью при контакте нагретой и холодной стружки при интенсивном ее перемешивании;
- путем конвективного теплообмена между нагретой поверхностью трубы и холодным движущимся потоком стружки.

В процессе интенсивного нагрева и перемешивания стружки в барабане происходит испарение

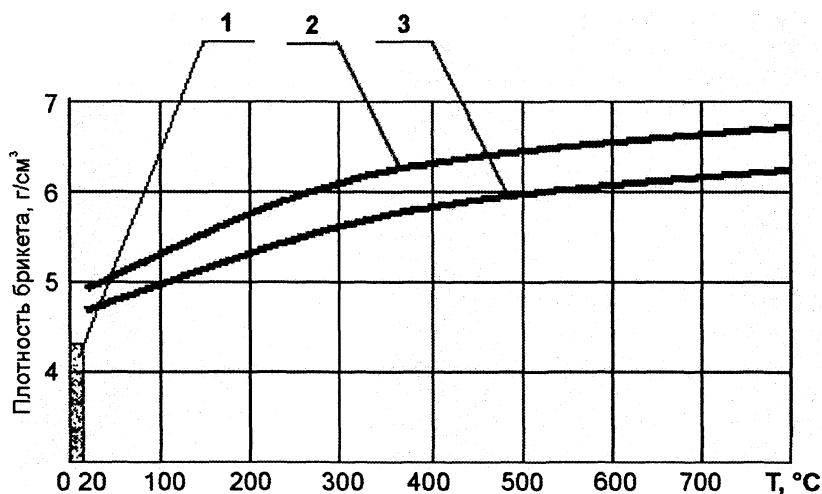


Рис. 6. Зависимость удельной плотности брикетов от температуры стружки при прессовании: 1 – стальная углеродистая стружка без термообработки; 2 – стальная углеродистая стружка; 3 – стальная легированная стружка

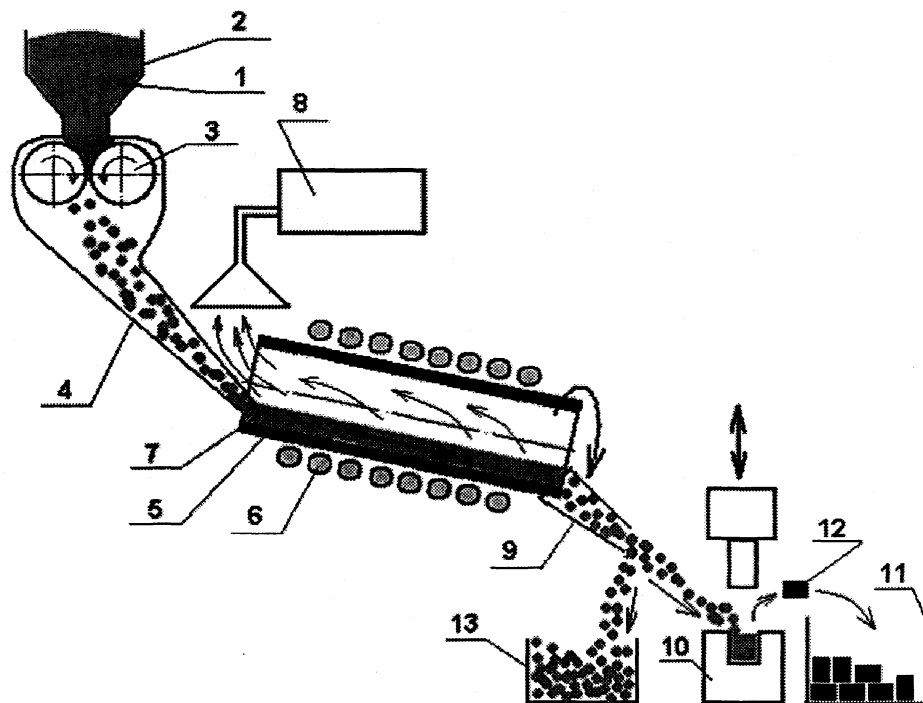


Рис. 7. Способ подготовки и брикетирования стружки: 1 – стружка; 2 – бункер загрузки; 3 – дробилка; 4 – подающий лоток; 5 – барабан; 6 – индуктор; 7 – поток стружки; 8 – устройство нейтрализации; 9 – приемный лоток; 10 – брикетировочный пресс; 11 – тара для брикетов; 12 – брикет; 13 – тара для стружки

влаги, испарение и выгорание остатков нефтепродуктов, СОЖ и других органических примесей. При этом интенсивный нагрев стружки в парах пиролиза органических примесей, малое время нахождения ее в интервале высоких температур исключают выгорание стружки или обезуглероживание ее поверхности.

Далее после прохождения потока стружки через барабан 5 она может использоваться для различных технологических нужд. Например, очищенная стружка через приемный лоток 9 попадает в рабочую камеру пресса для брикетирования 10, где осуществляется брикетирование стружки при различной ее температуре. Готовые брикеты 12 поступают в тару готовой продукции 11. В качестве шихтового материала 13 очищенная стружка может использоваться

для последующей плавки в металлургических печах.

Таким образом, по результатам проведенных опытно-исследовательских работ был опробован оригинальный способ термоочистки металлической стружки с использованием высокочастотного электромагнитного поля и установлены основные закономерности процессов пиролиза стружки по предложенному способу. На основе этих работ разработана технология и осваивается оборудование для подготовки и брикетирования стружки с применением разработанного способа термоочистки.

Внедрение данной технологии позволит получить экономический эффект при переработке всего объема образующейся на предприятии РУП «МАЗ» стружки: для чугуновой – около 233 млн. руб.; для стальной – около 457 млн. руб.