

УДК 622.788.32:662

**Ожогин В.В.<sup>1</sup>, Жерлицина О.В.<sup>2</sup>, Бочек А.П.<sup>3</sup>, Ковалевский А.И.<sup>4</sup>**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ ЖЕЛЕЗА**

*Рассмотрены особенности подготовки и использования отходов деревообработки в производстве железосодержащих брикетов.*

Нарастающий дефицит коксующихся углей, вызванный в том числе и известными событиями на шахте им. Засядько, а также высокая стоимость основных видов металлургического топлива, – кокса и природного газа, требует поиска альтернативных видов восстановителей железорудного сырья. В частности, по расчётам ассоциации «Укркокс», производство кокса не превысит 17,5 млн. т в год при потребности металлургических комбинатов в 19,6 млн. т.

К альтернативным восстановителям можно отнести менее калорийные бурый уголь, торф и лигнин, являющийся отходом целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности, а также отходы древесно-стружечные и сельскохозяйственного производства.

В отличие от кокса, характеризующегося большими прочностными и восстановительными характеристиками при высоких температурах, названные восстановители не имеют достаточной прочности, т.к. теряют её при нагреве и пиролизе и переходят в пластическое состояние. Это приводит к деформации и разрушению кусков материала в высоких слоях доменной печи, выносу из неё мелочи потоком газов и ухудшению газопроницаемости шихты. Это не позволяет использовать в доменном производстве в качестве полноценного самостоятельного восстановителя обсуждаемые материалы.

Ранее была показана возможность применения технического лигнина, а также торфа в качестве эффективных восстановителей, обеспечивающих высокую степень восстановления железорудных материалов [1, 2]. Каменный и бурый угли также применяют в качестве восстановителей окислов железа [3, 4].

Другим таким материалом, который можно применять, являются отходы деревообработки – древесная кора, опилки, стружка, щепа – в дальнейшем ДСО (древесно-стружечные отходы). Особенно много их образуется в местах первичной обработки древесины: лесоповале, лесопилках, а также на деревообрабатывающих предприятиях. В частности, в модельных отделениях фасонно-литейных цехов крупных металлургических и металлообрабатывающих предприятий ежегодный выход ДСО составляет 2 – 3 тыс. м<sup>3</sup>.

В настоящее время в Украине только незначительную часть ДСО используют для производства древесно-стружечных плит (ДСП). Большую часть этих отходов не утилизируют и вывозят в отвал или сжигают. Связанные с этим экологические проблемы ставят вопрос о полезном использовании этого вида отходов.

За рубежом распространённым способом утилизации ДСО является их брикетирование и сжигание как бытового топлива. В частности, в европейских странах, США и Канаде в связи со значительным ростом цен на твёрдое топливо и дрова для отопления каминов получило широкое распространение производство топливных брикетов и топливных гранул (пеллет) [5]. Последние представляют собой гранулы, получаемые продавливанием через фильеру в особых прессах высушенных и измельчённых отходов, в частности, опилок и стружки. Стоимость такого топлива в ценах 2006 г доходит до 400 грн/т, что сопоставимо со стоимостью угля [6].

<sup>1</sup>ПГТУ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

<sup>2</sup>ПГТУ, аспирант

<sup>3</sup>ОАО «ММК им. Ильича», инж.

<sup>4</sup>ПГТУ, студент

Однако, отходы древесины являются не только качественным топливом, но и эффективным восстановителем, потому что древесина содержит большое количество летучих углеводородных соединений (40 – 50 %), низкое содержание серы (менее 0,5 %) и золы (3 – 5 %).

С учётом вышесказанного, а также высокой стоимости малосернистых восстановителей представляется целесообразным использование последнего вида сырья в качестве вспомогательного восстановителя при производстве железосодержащих материалов. Эти материалы помогут восполнить дефицит металлолома, который усилится в ближайшее время в связи со вступлением Украины во Всемирную торговую организацию и снятия пошлин на его вывоз за рубеж.

Поэтому цель настоящего исследования – определение условий подготовки и использования ДСО в качестве нетрадиционного восстановителя при производстве металлизированных материалов.

Одним из недостатков такого восстановителя является относительно низкая температура начала пиролиза, т.е. разложения древесины, сопровождающаяся активным выделением летучих веществ. Оно начинается при нагреве до температуры менее 450 °С (для угля – 500 °С и более) [7, 8]. Это существенно меньше начала эффективного восстановления окислов железа (570 °С). Это может привести к нерациональным потерям восстановителя. Так, для условий доменной печи при давлении 98 кПа и температуре меньше 650 °С проблематично получение FeO из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, а при температуре меньше 685 °С и Fe из FeO [9]. Поэтому для металлизированных материалов, получаемых с использованием древесного восстановителя, необходим поиск оптимальных условий выбора исходных материалов и их подготовки и восстановления.

Исходным условием эффективности такого восстановления является правильный выбор исходных материалов, способа их окускования и металлизации. В качестве обрабатываемого материала могут быть выбраны наиболее доступные из них – концентрат или железосодержащие пыли и шламы, имеющие большую поверхность контакта с восстановителем. С учётом качественных и размерных особенностей восстанавливаемого материала (фракция менее 0,074 мм) и восстановителя (опилки фракции менее 10 мм), для создания условий тесного контакта компонентов, наиболее эффективным способом окускования является брикетирование. Учитывая уменьшение прочности брикетов при восстановлении, металлизация должна осуществляться в слоях малой толщины, например, в ленточной или кольцевой печи, либо непосредственно в конвертере.

Основными проблемами, с которыми приходится сталкиваться при производстве и металлизации брикетов, является их недостаточная холодная прочность. При брикетировании древесно-стружечных отходов с использованием водных растворов связующих возможно вспучивание брикетов. Происходит это из-за увеличения объёмов древесины вследствие поглощения влаги, содержащейся в связующем. В связи с этим, актуальной является задача выбора соответствующего связующего. При производстве древесно-стружечных плит обычно используют термопластические синтетические материалы, такие как, например, мочевино- и фенолформальдегидные смолы. Однако, они дороги, а при горении выделяют вещества, которые не всегда соответствуют экологическим требованиям.

В качестве доступных связующих при брикетировании опилок обычно используют термопластические материалы: каменноугольный пек, нефтебитум, асфальт, древесные смолы. Опилки хвойных пород при нагреве выделяют смолы и при брикетировании ДСО практически не требуют добавок связующих. При прессовании рудно-опилочных смесей необходимо дополнительное использование связующих, так как содержание смолы в древесине недостаточно для получения прочных брикетов.

Предварительные исследования показали, что лучшим связующим для ДСО является каменноугольный пек, который используют и для брикетирования концентрата и шламов [5]. Добавки пека в количестве 2 – 3 % при средних давлениях прессования 50 МПа, развиваемом большинством современных прессов, и предварительный нагрев исходной шихты до 100 °С обеспечивают брикетам удовлетворительную холодную прочность – до 10 МПа. Температура плавления пека в зависимости от марки составляет 65 – 70 °С [10].

С целью исключения влияния органической части пека на степень восстановления, в эксперименте в качестве связующего использовали жидкое стекло в количестве 5 %.

Для определения оптимального количества восстановителя, обеспечивающего требуемую степень металлизации в 80 %, достаточную для эффективной дальнейшей переработки металлизированного полупродукта, изготовлены брикеты следующих составов, см. табл. 1, 2.

Таблица 1 – Компонентный состав рудно-топливных брикетов

Шифр брикета	Содержание компонента, % (сух.)				
	концентрат К	шлам ШС	восстановитель ДСО	пек ПК	жидкое стекло ЖС (сверх 100 %)
100К 5ЖС	100	0	0	0	5
90К 10ДСО 5ЖС	90	0	10	0	5
80К 20ДСО 5ЖС	80	0	20	0	5
80СШ 17ДСО 3ПК	0	80	17	3	0

Таблица 2 – Химический состав исходных компонентов и металлизированных брикетов, %

Материал	S	FeO	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	K <sub>мет</sub>	ППП
Концентрат	0,057	28,00	66,36	-	0	0,65
Сталеплавильный шлам	0,620	43,31	54,29	-	0	5,10
Зола опилок	0,610	-	13,00	-	0	0
Брикет металлизированный						
100К 5ЖС	0,068	32,2	77,7	0	0	0
90К 10ДСО 5ЖС	0,096	68,1	68,6	15,6	0,227	0
80К 20ДСО 5ЖС	0,120	13,6	56,7	46,1	0,813	0
80СШ 17ДСО 3ПК	0,450	2,8	56,7	54,5	0,961	0

Компоненты смешивали, а затем брикетировали на винтовом механическом прессе под давлением 50 МПа. Брикеты имели цилиндрическую форму диаметром 30 мм и высотой 15 мм. Восстановление проводили в течение 1 ч под слоем известняка в открытых металлических стаканах, помещённых в кузнечную печь с окислительной атмосферой при температуре 1150 °С. Внешний вид восстановленных брикетов и их аншлифы представлены на рис. 1 и 2, степень металлизации – в табл. 2. Зависимость степени металлизации материала от количества восстановителя представлена на рис. 3.

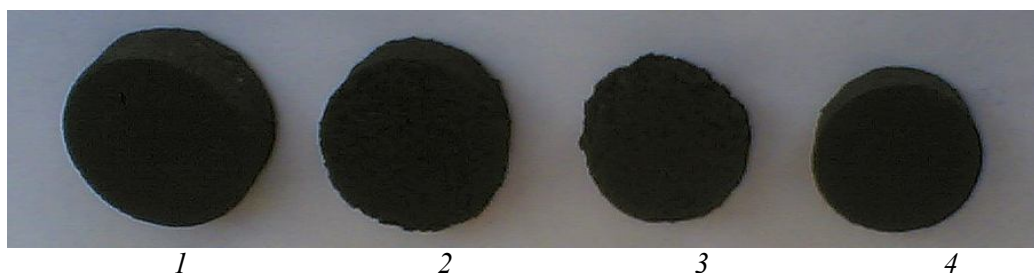


Рис. 1 – Внешний вид восстановленных рудно-топливных брикетов различных составов: 1 – 100К 5ЖС; 2 – 90К 10ДО 5ЖС; 3 – 80К 20ДО 5ЖС; 4 – 80СШ 17ДО 3ПК

После извлечения брикетов и их охлаждения отмечена значительная их усадка при большом содержании восстановителя, а также их слипание и деформация. Это свидетельствует о падении горячей прочности в процессе восстановления материала и невозможности их обработки в толстых слоях. В промышленных условиях возможно налипание брикетов на футеровку.

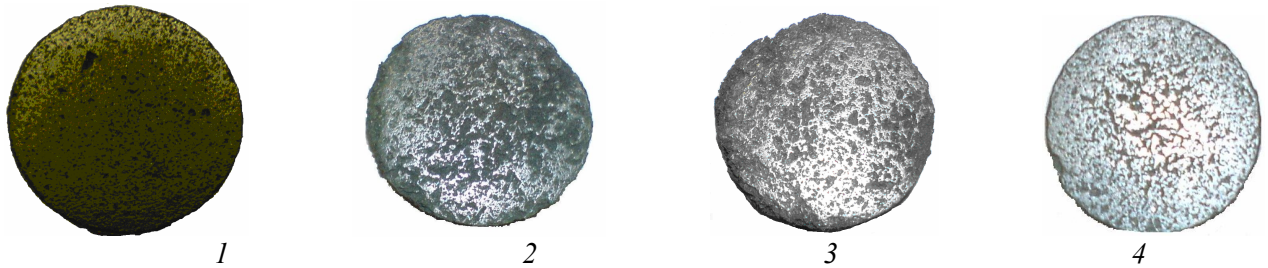
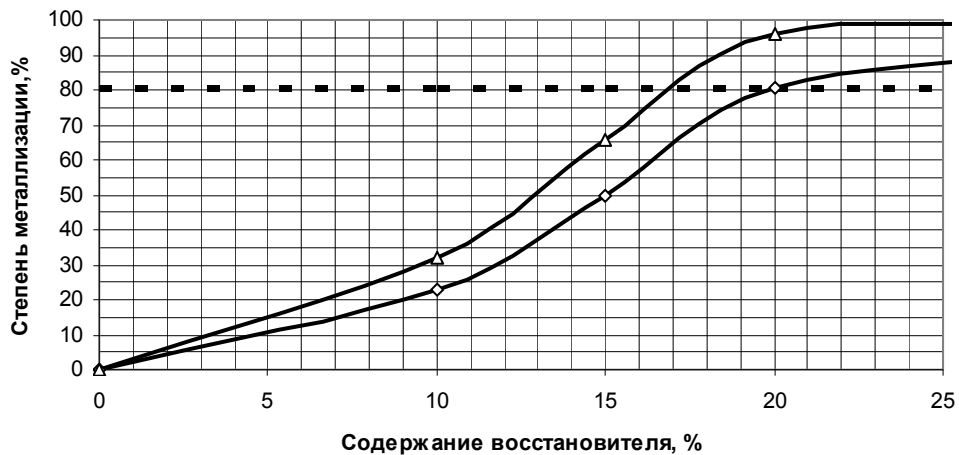


Рис. 2 – Аншлифы восстановленных рудно-топливных брикетов различных составов:  
 1 – 100К 5ЖС; 2 – 90К 10ДО 5ЖС; 3 – 80К 20ДО 5ЖС; 4 – 80СШ 17ДО 3ПК



◇ — содержание железа в металлизованном брикете с древесным восстановителем;  
 △ — то же, с угольным восстановителем; - - - заданная степень металлзации, 80 %

Рис. 3 – Зависимость степени металлзации брикетов от вида и содержания восстановителя

Из рис. 3 видно, что минимальное количество ДСО, обеспечивающего заданную степень металлзации на уровне 80 %, составляет 20 %, что приемлемо для использования в промышленных условиях. Все брикеты из концентрата с ДСО содержат серу в количествах, существенно меньших, чем в аналогичных брикетах с угольным восстановителем. Последнее свидетельствует о высоком качестве такого восстановителя.

Исследования, проведённые в работе [11] показывают, что степень восстановления рудно-угольных брикетов в закрытых стаканах и с использованием угольного восстановителя в количестве 20 % составляет 96 %. Это несколько больше достигнутого результата с использованием ДСО в качестве восстановителя. При использовании угольного восстановителя в количестве 20 % степень металлзации составляет 96,1 %, что говорит о его лучших восстановительных свойствах.

Тем не менее, учитывая, что восстановление велось в окислительной атмосфере с обычной защитой, был достигнут заданный уровень металлзации 80 %. Это обстоятельство позволяет организовать использование брикетов без их предварительного восстановления непосредственно в сталеплавильном агрегате с обеспечением определённых мер по их защите от вторичного окисления. Наиболее известным способом такого использования является переплавка таких брикетов в мартеновских печах с их загрузкой под слой известняка [12].

В мировой и отечественной металлургической практике известны способы получения относительно недорогого металлизованного полупродукта – самовосстанавливающихся железно-угольных брикетов, длительность восстановления которых в кольцевых печах при 1200 – 1250 °С составляет 20 – 30 мин. [13]. Такой полупродукт с частичной металлзацией возможно использовать при производстве стали в конвертерах, где имеется избыток тепла.

Технология прямого получения стали в мартеновской печи из брикетированного рудно-топливного сырья в кипящем шлаковом слое (процесс КШС), разработанная ВЗПИ, показала вы-

сокую эффективность данного процесса [10]. Однако, этот процесс не получил дальнейшего развития из-за отсутствия трудностей в снабжении металлическим ломом плавильных агрегатов.

Расчёты, выполненные в ценах 2007 г., показывают, что 1 т металлizadosанных брикетов может заменить 660 кг металлолома, а экономия от такой замены составит около 300 грн.

Получение рудно-топливных брикетов может быть организовано с использованием существующих брикетировочных мощностей. На имеющемся участке можно получить 5 тыс.т брикетов в год, использование которых в мартеновском производстве эквивалентно 2,5 тыс.т металлолома. Расчётная стоимость установки 1,5 млн. грн., срок окупаемости – 2,5 года.

#### Выводы

1. Выполненные исследования показали принципиальную возможность использования отходов деревообработки в качестве недорогого, но достаточно эффективного восстановителя для получения материалов с высокой степенью металлизации. Определены условия получения брикетов, обладающих высокой восстановимостью. Достигнутый уровень металлизации опытных брикетов – 83,0 – 97,5 %.
2. Экономия от замены дефицитного металлолома рудно-топливными брикетами при их использовании в мартеновском производстве составит 300 грн. на плавку.
3. Дальнейшие исследования следует вести в направлении: а) повышения прочности исходных брикетов; б) способов их эффективной металлизации в существующих агрегатах; в) разработка специального оборудования для получения брикетов; г) разработка способов эффективного использования металлizadosанного полупродукта.

#### Перечень ссылок

1. Использование технического лигнина в брикетировании железосодержащих отходов / В.В. Ожогин, А.А. Томаш, И.А. Ковалевский, О.В. Жерлицина // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2005. – Вип. 15. – С. 21 – 24.
2. Использование нетрадиционных восстановителей в производстве металлizadosанных брикетов / В.В. Ожогин, О.В. Жерлицина, А.П. Бочек и др. // Сталь. – 2007. – № 1. – С. 96 – 99.
3. Кожевников И.Ю. Бескоксая металлургия железа. – М.: Металлургия, 1970. – 336 с.
4. Залізовуглецевий брикет для металургійного виробництва: Патент 70245 А, Україна, МПК С22В1/00 / В.С. Бойко, В.В. Климанчук, І.М. Фенісов та ін. – № 20031213259; Заявлено 31.12.2003; Опубл. 15.09.2004. Бюл. № 13.
5. Ожогин В.В. Использование отходов деревообработки в качестве альтернативного вида бытового топлива // Металлургические процессы и оборудование. – 2007. – № 2. – С. 34 – 39.
6. Шершова Н. Отходы – в доходы // Украина Промышленная. – 2006. – № 5. – С. 32 – 37.
7. Угли ископаемые // Большая Советская Энциклопедия: В 51 т. / Гл. ред. С.И. Вавилов, Б.А. Введенский. Изд. 2-е. – М.: Советская Энциклопедия, 1949. – Т. 43. Топсель – Уженье. – 1956. – С. 612 – 614.
8. Сухая перегонка древесины // Большая Советская Энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. – М.: Советская Энциклопедия, 1973. // Т. 25. Струнино – Тихорецк. – 1976. – С. 100.
9. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. – М.: Металлургия, 1989. – 512 с.
10. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и чёрной металлургии / Б.М. Равич. – М.: Металлургия, 1975. – 232 с.
11. Изучение восстановимости шламоуглеродистых брикетов / В.В. Ожогин, О.В. Жерлицина, С.Г. Чернова и др. // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2004. – Вип. 14. – С. 30 – 33.
12. Применение брикетированных материалов в мартеновской печи / А.Т. Хвичия, О.Ш. Микадзе, Г.А. Ломтатидзе и др. // Бюл. ин-та Черметинформация. – 1981. – № 22. – С. 39 – 41.
13. Исследование восстановимости высокозакисных шламоизвестковых брикетов / В.В. Ожогин, А.А. Томаш, С.Г. Чернова и др. // Тез. докл. X регион. научно-технич. конференции. – Мариуполь: ПГТУ, 2003. – Т. II. – С. 13 – 14.

Рецензент: А.М. Скребцов  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 25.02.2008