

УДК 621.042

## ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ (ШЛАМОВ) КОНВЕРТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО “СЕВЕРСТАЛЬ” В ПРОЧНЫЕ БРИКЕТЫ

© 2009 Е.М. Булыжев, В.Н. Кокорин, А.С. Марков, А.А. Митюшкин, Д.П. Груздев

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

В условиях интенсивно ухудшающейся экологической обстановки, истощения сырьевой базы, постоянного роста производственных и транспортных затрат все более актуальными становятся проблемы утилизации отходов металлургических производств.

Настоящая работа посвящена исследованию, совершенствованию и разработке технологии утилизации тонкодисперсных железосодержащих отходов (ЖСО) аглодомного и конверторного производств ОАО “Северсталь”.

Ключевые слова: утилизации отходов, металлургические производства, тонкодисперсные железосодержащие отходы.

Наибольшее распространение в переработке ЖСО получил плавильный передел, однако целесообразность его использования ограничивается переработкой кускового лома, стружки черных металлов.

Вместе с тем, плавильный передел и связанные с ним заготовительно-транспортные операции на существующем уровне развития процессов сбора, хранения, транспортирования отходов и собственно металлургических процессов не обеспечивают необходимого эффекта.

Подавляющее большинство шламовых ЖСО методами переплава не перерабатываются и изымаются из металлооборота, в результате чего отечественная промышленность ежегодно теряет до 1,5 млн. тонн металла [1].

В отвалах и промышленных свалках сосредоточены значительные объемы коррозионного, пылящего и токсичного тонкодисперсного железосодержащего шлама.

Так, в сутки на ОАО “Северсталь” (г. Череповец) при подготовке и осуществлении конверторных процессов изымается из производства и теряется в виде мелкодисперсной пыли 800 тонн конверторного шлама.

Настоящие проблемы являются общими для всех отечественных производств черной металлургии.

---

*Булыжев Евгений Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры “Материаловедение и обработка металлов давлением”.*

*Кокорин Валерий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой “Материаловедение и обработка металлов давлением”.*

*E-mail: omd@mf.ulstu.ru.*

*Марков Александр Сергеевич, аспирант.*

*Митюшкин Антон Александрович, аспирант.*

*Груздев Дмитрий Павлович, аспирант.*

В отличие от традиционного металлургического производства, рентабельного при производственной мощности предприятия свыше 1 млн. тонн продукции в год, рентабельность производства с использованием тонкодисперсных ЖСО может быть обеспечена уже при объеме производства до 100 тонн/год, а оптимальным является уровень производственной мощности 1...5 тысяч тонн/год. Относительно небольшие масштабы рентабельного производства позволяют максимально приблизить мощности по переработке ЖСО к источникам образования этих отходов и полностью исключить транспортно-складские издержки, а также потери при транспортировании.

Технологический цикл “ЖСО-брикет” значительно короче традиционного цикла, легко автоматизируется и может быть встроен в современное металлургическое производство, в том числе в гибкие производственные системы.

Безотходная переработка (утилизация) ЖСО позволит полностью вернуть их в среду производства и устранить ущерб, приносимый природной среде.

Анализ научно-технической литературы, патентной документации показал эффективность переработки тонкодисперсных неметаллических производств. При этом установлено, что базовые методы порошковой металлургии являются наиболее эффективными, позволяющими утилизировать эти виды отходов. В то же время в технической литературе отсутствуют технологические рекомендации по практическому освоению проблемы подготовки и переработки ЖСО, разработке промышленных технологий.

В разработках [2, 3, 4, 5, 6, 7] представлены определяющие технологические решения по ути-

лизации тонкодисперсных пылевых отходов металлургического производства. Приведены способы, технические мощности, общие (основные) перспективы развития технологических решений получения плотноупакованной механической смеси.

В работах [5, 8, 9] приведены результаты исследований брикетирования тонкодисперсных ЖСО с использованием широкой гаммы связующих наполнителей.

Однако следует отметить, что в практике и теории настоящих проблем отсутствует целостная стратегическая концепция проблем утилизации ЖСО, существующие принципы рассмотрения и решения этих вопросов не являются во многом однородными, корректными и конкретно законченными, чем можно во многом объяснить сохраняющуюся по настоящее время острейшую потребность предприятий в наукоемких технологических процессах утилизации металлургических отходов.

Проблемы утилизации тонкодисперсных отходов находятся в центре внимания Ульяновского государственного технического университета с конца 70-х годов. ЗАО «Системы водоочистки» (г. Ульяновск) совместно с кафедрой «Материаловедение и обработка металлов давлением» УлГТУ исследованы, разработаны и внедрены в промышленном производстве технологические процессы утилизации железосодержащих отходов широкого спектра производств: от подшипниковых заводов до комбинатов черной металлургии. Теоретический и экспериментальный анализ вопросов подготовки и переработки ЖСО нашел отражение в ряде печатных публикациях и патентах РФ [8-15].

Необходимым условием промышленного освоения технологических процессов утилизации тонкодисперсных отходов конверторных производств черной металлургии является определение и установление общей концепции рационального решения проблем утилизации ЖСО на основе обеспечения экологической безопасности производства и ресурсосбережения:

аналитико-экспериментальные исследования механизмов смесеприготовления и прессования;

минимизация трудоемкости и энергосиловых параметров образования гомогенной структурно неоднородной, а также плотноупакованной механической смеси;

переработка результатов и прикладных технических решений по оптимизации селективного отбора ЖСО, их подготовке и компактированию.

Было проведено комплексное изучение технологических принципов утилизации ЖСО; разработки принципов рационального построения и интенсификации процессов переработки тон-

кодисперсных отходов производств черной металлургии и создание на основе этого технологических процессов утилизации железосодержащих отходов конверторного производства ОАО «Северсталь». Изучены основные закономерности подготовки ЖСО. Исследованы закономерности смесеприготовления и компактирования (прессования). Установлены рациональные режимы смесеприготовления, прессования плотноупакованных брикетов; хранения; провести испытания на механическую прочность.

В качестве исходного материала для исследований использовали сухой железосодержащий шлам, образуемый в конверторном производстве в процессе плавки стали.

По результатам рентгеноструктурного анализа ЖСО на установке «ДРОН-3» выявлена значительная степень окисленности конверторного шлама. При этом в общей массе исследуемого материала оксиды составляют до 41...43 %, что существенно ограничивает технологические возможности прессования.

Как показали рентгеноструктурные исследования, оксидная пленка распространена с высокой степенью равномерности, достигая до 15...20 % толщины отдельного фрагментарного элемента (частицы).

Кроме того, установлено выгорание углерода в материале, величина которого составляла 0,15...0,30 %.

Степень окисленности (% Fe-6) шлама, его структура определяют технологические особенности подготовки и переработки шлама (в рамках типового технологического процесса).

Для приготовления шихты шлам просеивали через набор сит с различным числом ячеек на единицу длины ситового полотна из капрона (0,045...5 мм), причем сита устанавливали друг над другом.

Установлен средний диаметр фракций шлама:  $100 < D_{CP} < 500$  мкм.

Содержание фракций данного состава составило 90...95 %.

Отмечено наличие в конвекторном шламе крупных фрагментов:

$D_{CP} = 1.0$  мм - 1...3 %;  $D_{CP} > 3$  мм - 2...5 % массовой доли.

Таким образом, для обеспечения однородности шлама в подготавливаемой шихте необходим его классификационный зерновой отбор с целью исключения крупных фракций с  $D_{CP} > 5$  мм.

Однородная структура исходных материалов способствует благоприятным условиям процессов смешивания и прессования. В качестве средства технологического обеспечения однородности смеси предлагается использовать полигональное сито.

Процесс приготовления включает в себя транспортирование и подготовку исходных материалов, их дозирование и смешивание, раздачу смесей. Наиболее важна стадия дозирования и смешения компонентов. На ней заканчивается формирование свойств смесей. Данные смеси относятся к дисперсным структурно-сложным, неоднородным, пористым материалам. Качество смеси определяется уровнем ее однородности, структурой и физико-механическими свойствами.

Смешивание сухих фракций конверторного шлама, а также жидкого связующего, проводили в лабораторном смесителе (бегуне) с насыщенным рабочим объемом 0,02 м<sup>3</sup>.

В качестве связующего использовано жидкое стекло. Жидкое стекло относится к системе щелочных силикатов. Оно обладает всеми свойствами коллоидных растворов. Как правило, в литейном производстве и металлургии применяют силикат натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) и силикат калия ( $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ). Наибольшее применение получило натриевое жидкое стекло [5].

Установлено, что при оптимальном отношении ЖСС и сухих фракций в смеси (шихте) устойчивая оболочка вокруг дискретных элементов фракций образуется за минимальное время смешения компонентов. Экспериментально определена следующая технологическая схема приготовления смеси:

1. Ввод в смеситель (бегун) установленного количества сухих фракций смеси.

Продолжительность перемешивания сухих компонентов 1,5...2,0 мин., что согласуется с данными, приведенными в работе [9].

2. Ввод в однородную массу сухой шихты ЖСС – жидкого стекла на натриевой основе.

3. Перемешивание полученной смеси в течение 3 мин.

Экспериментальные исследования [16] подтвердили положение, что увеличение интенсивности процесса перемешивания не оказывает существенного влияния на окончательную прочность брикета. Это свидетельствует о гомогенности шихты в широком диапазоне частоты вращения бегуна.

Установлено, что увеличение продолжительности процесса смешивания жидких и твердых компонентов свыше 8...10 минут приводит к уменьшению механической прочности брикета по экспоненциальной зависимости. Очевидно, это можно объяснить тем, что в процессе перемешивания начинаются процессы твердения и непрерывного разрушения возникающей структуры, то есть продолжительность перемешивания является функцией живучести смеси.

Как показали эксперименты, снижение количества жидкого стекла на 1% уменьшает работу извлечения брикета примерно в два раза. Таким

образом, содержание жидкого стекла необходимо снижать до минимально возможного уровня, исходя из требуемых прочностных и технологических характеристик [9].

Установлено влияние модуля жидкого стекла  $M$  на живучесть смеси, а, следовательно, и извлечение брикетов из пресс-форм.

Чем выше модуль жидкого стекла, тем меньше инкубационный период твердения и выше живучесть, а значит, и улучшаются условия извлечения брикетов.

Это можно объяснить влиянием увеличения  $M$  на уменьшение предельной растворимости кальция и сокращение времени достижения этой смесью критического порога.

Рекомендуемое для состава ЖСС – натриевое жидкое стекло значение  $M$  составляет 2,5...2,7 при плотности смеси  $\rho = 1,45$  г/см<sup>3</sup>.

Установлено [15], что наилучшими условиями извлечения брикетов обладают ЖСС с  $M = 2,7...2,9$ , однако это утверждение справедливо лишь с одновременным значительным уменьшением массовой доли жидкого стекла, что, в свою очередь, приводит к резкому снижению механической остаточной прочности брикета при фиксированных давлениях прессования.

Таким образом, определение рациональных соотношений ЖСС + ЖСО не имеет однозначного и строго определенного решения. Очевидно, при увеличении массовой доли жидкого стекла увеличивается механическая прочность, но одновременно ухудшаются условия извлечения брикета за счет:

- а) усиления адгезии;

- б) увеличения остаточной плотности материала брикета при неизменных давлениях брикетирования из-за уменьшения межчастичного трения, что приводит к увеличению давлений выпрессовывания. При этом увеличивается продолжительность самоотвердения плотноупакованного материала брикета.

Нельзя не отметить, что увеличение массовой доли жидкого стекла способствует росту хрупкости твердого брикета, так как арочные соединения имеют аморфную хрупкую структуру. Это следует учитывать при разработке технологии брикетирования, так как при транспортировке к сталеплавильной печи отпрессованные брикеты подвергаются ударным нагрузкам из-за перепада высот шести транспортных систем с падением брикетов с семиметровой высоты на каждой из них.

Для сохранения заданной формы и размеров брикетов с целью обеспечения требуемой механической прочности на сжатие и удар, а так же достаточной живучести смеси, создания благоприятных условий извлечения отпрессованных

брикетов рекомендуется применять натриевое жидкое стекло с модулем  $M = 2,5...2,7$  и плотностью  $\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$ , в количестве от 1,5 до 2,5 % массовой доли.

Уточнение количественного состава шихты (ЖСС + ЖСО) проведено в рамках промышленного физического эксперимента с использованием брикетировочного валкового пресса.

Технологический комплекс утилизации металлургических отходов включает в себя следующие основные позиции: сортировка и классификация по гранулометрии дисперсных материалов; дозирование сухой твердой фракции с жидкой связующей (ЖСС), брикетирование, удаление (свободное) жидкой фазы в материале брикета на протяжении времени хранения на складе. Технологические позиции - сквозные, предусматривается использование механизации погрузочно-разгрузочных работ.

В технологический комплекс утилизации отходов входят:

- емкости для приема исходного сырья; прошедшего классификационный (зерновой) отбор; для риготовленной ЖСС; для приема брикетов;
- установка приготовления ЖСС; система подачи ЖСС;
- система смесиприготовления (бегуны); система подачи ЖСС в смеситель; механической смеси на брикетирование;
- система дозаторов на технологических позициях;

- погрузочно-разгрузочные, межоперационные транспортирующие устройства; брикетировочный валковой пресс.

Производимая продукция после ввода технологического комплекса в эксплуатацию:

- возвратный кусковый (в виде брикета) железосодержащий пылевидный шлак конверторного производства;

Требования к брикету: масса, геометрические соотношения, форма и структурный состав устанавливаются на основе требований ОАО "Северсталь" и корректируются с учетом оптимизации, как его изготовления, так и использования (брикет-транспортабельный, прочный, отсутствует склонность к его разрушению в процессе изготовления, транспортирования и хранения) на этапе выполнения технологической переработки.

Был спроектирован участок для утилизации (подготовка и переработка) металлургических отходов конверторных производств на производственных площадях ОАО "Северсталь" (г. Череповец) в соответствии с блок-схемой (рис. 1).

- Реализация данной работы обеспечит:
- вовлечение (возврат) в сферу материального производства тонкодисперсных металлургических железосодержащих отходов (шламов);
  - получение в качестве готового продукта (брикет) материалов, обладающих потребительской стоимостью, и обеспечение рентабельности их производства;
  - снижение расходов на шихтовые материалы

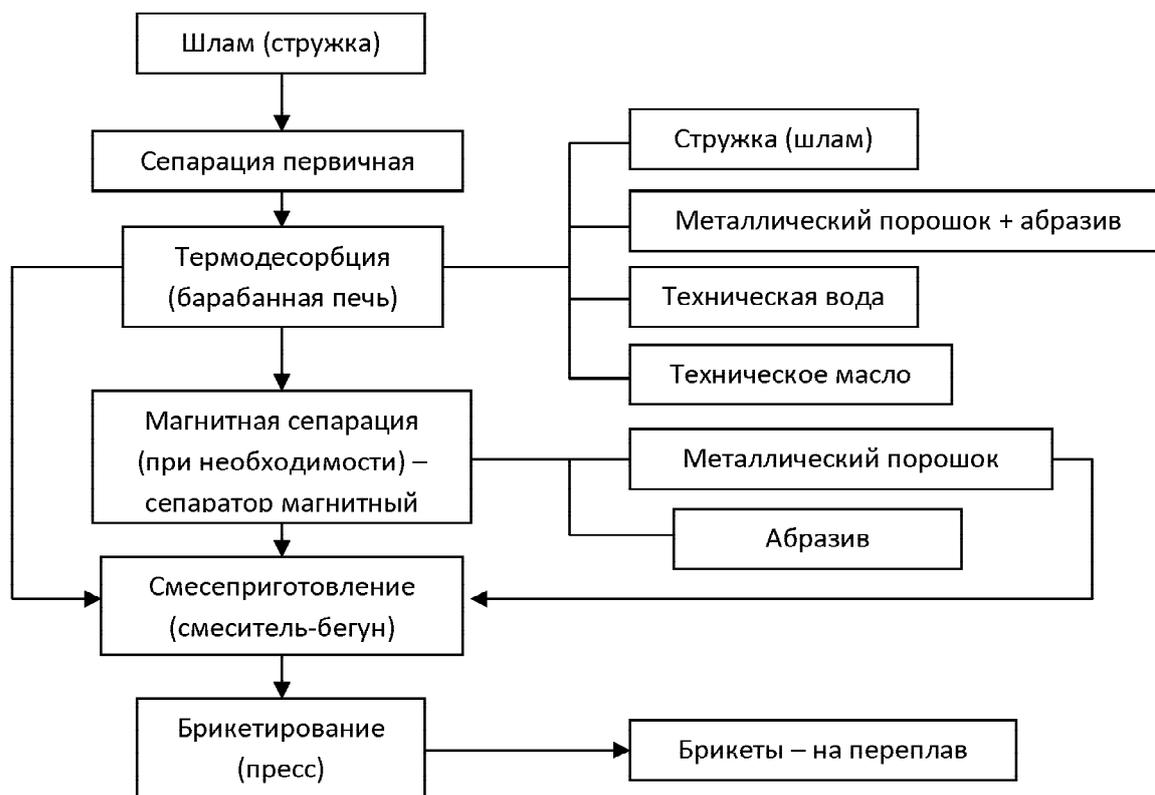


Рис. 1. Блок-схема переработки шлама в брикеты

и расходов на транспортные грузоперевозки; исключение расходов по складированию и хранению шламов на внешнем полигоне промотходов;

- охрану окружающей среды и содействие созданию экологически безопасной среды обитания человека;

- практически безотходную технологию утилизации тонкодисперсных отходов конверторного производств ОАО “Северсталь”;

- сравнительно низкий срок окупаемости капитальных вложений при реализации (внедрении) разработанных технологий утилизации шламов (1...1,5 года).

Экономический эффект возникает (укрупненно) за счет возврата металла, входящего в конвертерный шлак; за счет внедрения сквозной (безотходной) технологии, обеспечивающей значительное снижение транспортных расходов, а также расходов, отнесенных к хранению отходов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Падалко О.В., Левинский Ю.В.* Получение порошков из отходов машиностроительных и металлургических производств // Итоги науки и техники. Серия порошковая металлургия. 1989. Т.3. С. 3-60.
2. *Латухов А.С.* Проблемы комплексной утилизации отходов обогатительно-агломерационных фабрик Сибири // Горный журнал. 1997. №2. С. 46-47.
3. *Петровский А.А., Исаев В.А.* Ресурсы сбережения-основа технического перевооружения и развития металлургии России // Металлург. 1993. №7. С. 6-8.
4. Эффективность органических связующих для окомковывания железных руд // Экспресс-обзор. Новейшие зарубежные достижения / Ин-т “Черметинформация”. Сер. Подготовка сырьевых материалов. 1991. Вып. 6. С. 1-15.
5. *Меньковский М.А. и др.* Связующие вещества в процессах окучивания горных пород. М.: Недра, 1997. С. 128.
6. Патент РФ N2083694 от 10.07.97. “Способ переработки металлосодержащих отходов” / *Кокорин В.Н., Булыжов Е.М. и др.*
7. Патент РФ N2097166 от 27.11.97. “Способ переработки металлосодержащих шламов” / *Кокорин В.Н., Булыжов Е.М. и др.*
8. *Кокорин В.Н.* Способ получения транспортабельных брикетов без приложения давления. Междунар. НТК “Новые методы средства и технологии в науке, промышленности и экономике”. Ульяновск, 1997.
9. *Кокорин В.Н. и др.* Технология переработки в брикеты дисперсных металлосодержащих смесей. Всероссийское НТК “Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы”. Волжский, 1997.
10. *Кокорин В.Н.* К проблеме прессования шламовых металлосодержащих отходов // Всероссийская НТК “Ресурсосберегающие технологии листовой и объемной штамповки”. Ульяновск: УлГТУ, 1997.
11. *Кокорин В.Н. и др.* Ресурсосберегающая технология утилизации мелкодисперсных маслосодержащих шламов в прессованные брикеты. // Всероссийская НТК “Ресурсосберегающие технологии листовой и объемной штамповки”. Ульяновск: УлГТУ, 1997.
12. *Берлет Ю.Н., Кокорин В.Н.* Экологически безопасная технология утилизации водомаслянных шламовых отходов. Междунар.НТК “Экология, ресурсосбережения”. Пенза: ПДНТП, 1996.
13. *Берлет Ю.Н., Кокорин В.Н. и др.* Унифицированная технология и технологический модуль утилизации водомаслосодержащих металлических отходов. Всерос. НТК “Отходы производства и методы решения”, Пенза: ПДНТП, 1995.
14. *Кокорин В.Н., Берлет Ю.Н.* Технология и технологический модуль для утилизации металлосодержащих отходов на основе шлифовальных шламов. Междунар. НТК “Смазочно-охлаждающие технологические средства при механической обработке заготовок из различных материалов”. Ульяновск: УлГТУ, 1993.
15. *Берлет Ю.Н., Кокорин В.Н.* Утилизация вторичных металлосодержащих отходов в производстве деталей конструкционного назначения. Всерос. НТК, “Новые материалы и технологии машиностроения”. М.: МАТИ, 1992.

### TECHNOLOGY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PROCESSING OF FERRIFEROUS WASTE (SLUDGES) BLOW PROCESSES OF OPEN SOCIETY “SEVERSTAL’ IN STRONG BRIQUETTES

© 2009 E.M. Bulyzhev, V.N. Kokorin, A.S. Mark, A.A. Mitjushkin, D.P. Gruzdev

Ulyanovsk State Technical University

In conditions of intensively worsening ecological conditions, an exhaustion of a raw-material base, constant growth of industrial and transport expenses more and more actual there are problems of recycling of waste of metallurgical manufactures.

The present work is devoted to research, perfection and development of technology of recycling fine ferriferous waste of blast furnace and blow manufactures of Open Society “Severstal”.

Key words: recycling of waste, metallurgical manufactures, fine ferriferous waste.

*Eugene Bulyzhev, Doctor of Technics, Professor at the Materials and Processing of Metals under Pressure Department.*

*Valery Kokorin, Candidate of Technics, Associate Professor, Head at the Materials and Processing of Metals under Pressure Department. E-mail: omd@mf.ulstu.ru.*

*Alexander Markov, Graduate Student.*

*Anton Mityushkin, Graduate Student.*

*Dmitriy Gruzdev, Graduate Student.*