

МЕТАЛЛУРГИЯ

МРНТИ 53.31.21

К.В. Баюл¹, А.Ю. Худяков¹, С.В. Ващенко¹

¹Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова, г. Днепр, Украина

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ МЕЛКОФРАКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ФЕРРОСПЛАВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. Дана краткая характеристика опыта по разработке и внедрению в производство технологий и прессового оборудования для брикетирования мелкофракционного сырья в ферросплавной промышленности. Отмечена актуальность и перспективность внедрения в технологический цикл ферросплавного производства технологий брикетирования мелких фракций рудного концентрата и отсевов ферросплавов с использованием в качестве основного агрегата валкового пресса. На конкретном примере в обобщенном виде показан системный подход к созданию технологии и выбору валкового пресса для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов в ферросплавном производстве.

Ключевые слова: брикетирование, валковый пресс, марганцевый концентрат, шлакометаллическая смесь.

• • •

Түйіндеме. Ферроқорытпа өнеркәсібіндегі ұсақфракциялық шикізатты брикеттеу үшін өндірісте технологиялар мен баспақтық құрылғыларды өңдеу және енгізу бойынша тәжірибенің қысқаша сипаттамасы берілген. Ферроқорытпа өнеркәсібінің технологиялық цикліне негізгі агрегат ретінде білікті баспақты қолдану арқылы кенді концентраттың ұсақ фракцияларын брикеттеу мен ферроқорытпалар қалдықтарын енгізудің маңыздылығы мен болашағы айтылған. Ферроқорытпа өнеркәсібіндегі ұсақфракциялық шикізат материалдарын брикеттеу үшін білікті баспақ технологиясын жасау және таңдаудың жүйелік жолдары нақты мысалдармен келтірілген.

Түйінді сөздер: брикеттеу, білікті баспақ, марганец концентраты, қожметалдық қоспа.

• • •

Abstract. A brief description of the experience in the development and implementation of production technologies and press equipment for the briquetting of small fractional raw materials in the ferroalloy industry is given. The relevance and prospects of introducing briquetting technologies of small fractions of ore concen-

trate and screenings of ferroalloys using the roller press as the main unit into the technological cycle of ferroalloy production are noted. On a specific example, in a generalized form, a systematic approach is shown to the creation of technology and the selection of a roller press for briquetting fine fraction raw materials in ferroalloy production.

Keywords: briquetting, roll press, manganese concentrate, slagmetallic mixture.

Введение. На стадиях добычи руды, подготовки шихт и выплавки ферросплавов, образуются мелкодисперсные материалы, которые не могут повторно использоваться в технологических переделах без предварительного окускования. Наряду с агломерацией, для окускования вторичного ферросплавного сырья, широкое применение получил процесс брикетирования, характерными особенностями которого являются возможность организации участков различной производительности, гибкость технологических решений, низкая энергоемкость и экологическая нагрузка.

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ), является одним из ведущих научно-исследовательских центров в области металлургии на Украине, и имеет значительный опыт разработки и внедрения технологий брикетирования мелкофракционного сырья, в том числе для ферросплавного производства. В реализованных проектах используется валковый брикетный пресс собственной конструкции, зарекомендовавший себя как агрегат, обладающий высокой надежностью и производительностью [1-4]. Создана технология производства брикетов из смеси отсевов концентратов «Марганецкого ГОКа» фракции 0...6 мм, которые содержат 41,0; 34,0 и 29,9 % Mn (в зависимости от класса концентрата). Брикеты из опытной партии, полученной на валковом прессе содержали до 32 % Mn и имели прочность на сжатие 115...125 кг/бр., высокие показатели прочности на сбрасывание, термостойкость и влагостойкость. Разработан технологический регламент на производство брикетов в условиях «Марганецкого ГОКа» и техническая документация на изготовление валкового пресса производительностью до 18 т/ч. Расчетная мощность производства, при установке в линии 3-х прессов, составляет не менее 40 т/ч [5].

Разработана и внедрена на металлургическом комбинате «АрселорМиталл Кривой Рог» технология брикетирования отсевов FeMn, SiMn и FeSi размером 0...5 мм. Полученная опытная партия брике-

тов имеет следующие характеристики: плотность – 4,68 г/см³ (FeMn), 4,31 г/см³ (SiMn), 2,74 г/см³ (FeSi); выход мелкой пыли (0...1мм) при испытании на сбрасывание – до 1 % (FeMn, SiMn), 3,7% (FeSi); высокие термо- и влагостойкость. Совместно со специалистами Национальной металлургической академии Украины и компании «Интермет», создан и пущен в эксплуатацию участок брикетирования производительностью 5т/ч., укомплектованный валковым прессом конструкции ИЧМ. [6].

Для условий Никопольского завода ферросплавов разработаны и опробованы технологии производства брикетов из различных материалов: шлака металлического марганца с добавкой окалины; пыли газоочисток; смеси пыли, шлама и коксовой мелочи. Наиболее перспективным и экономически выгодным для завода оказалось производство брикетов из отсевов силикомарганца фракции 0...6 мм. В отсевах содержится 71,3% Mn; 17,8% Si; 1,7% C; 0,15% P; 8,4% Fe [7]. Создана технология брикетирования, разработан и изготовлен валковый пресс производительностью 5 т/ч. Технология реализована в виде комплекса брикетирования отсевов ферросплавов, производительностью более 40 000 т брикетов в год. Основные характеристики брикетов, получаемых на НЗФ: размеры – 40x39x(18,5...22) мм; плотность – 4,5...4,8 г/см³; прочность на сбрасывание (содержание фракции +5 мм) – 94...96% [8].

Практический опыт и мировые тенденции развития горнодобывающих и металлургических производств, в том числе, ферросплавных указывают на востребованность и перспективность внедрения технологий и оборудования для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов с целью их возврата в технологические переделы.

Методы работы. В настоящее время сформирован и применяется на практике системный подход к разработке и внедрению технологий и прессового оборудования для брикетирования, который базируется на собственном комплексе научных методов [9] и включает следующие этапы: 1) экспериментальное определение физико-механических свойств и характеристик уплотняемости материала, в том числе сопротивления сжатию [10,11]; 2) разработка технологии брикетирования (выбор связующего, расчет технологических и энергосиловых параметров процесса брикетирования шихты в валковом прессе); 3) разработка и изготовление прессового оборудования (возможен как выбор пресса из созданного в ИЧМ модельного ряда, так и конструирование новой модели); 4) разработка технологического регламента; 5) пуско-наладочные работы; 6) гарантийное обслуживание.

В качестве примера реализации системного подхода к разработке технологии брикетирования и выбору прессового оборудования приведены результаты исследований по оценке брикетируемости двух видов мелкофракционных материалов, образующихся на ферросплавном производстве Темиртауского электрометаллургического комбината – отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси при производстве ферросиликомарганца.

В таблице 1 приведены усредненные значения характеристик исследуемых материалов, определенные в лабораторных условиях ИЧМ.

Таблица 1 - Основные характеристики исследуемых материалов

Характеристика материала	Марганцевый концентрат	Шлакометаллическая смесь	
Влажность	1,37 %	6,88 %	
Насыпная плотность	1,85 г/см ³	1,73 г/см ³	
	Фракция, мм	Содержание фракции, %	Содержание фракции, %
Гранулометрический состав	> 7	18,15	23,57
	5 - 7	11,27	11,29
	3 - 5	18,41	14,17
	2 - 3	11,2	9,35
	1 - 2	23,35	17,9
	0,5 - 1	5,94	4,51
	0,25 - 0,5	7,3	6,93
	0 - 0,25	4,38	12,28
Средний диаметр частиц, мм	3,94	3,75	

В результате оценки основных физико-механических и технологических характеристик материала установлено, что гранулометрический состав исходных отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси не отвечают требованиям, предъявляемым к крупности шихтовых материалов для брикетирования в валковых прессах. Около 18% массы марганцевого концентрата и 23,5% шлакометаллической смеси представлено фрагментами крупнее 7 мм. Влажность шлакометаллической смеси избыточна и не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к данному технологическому параметру брикетирования исследуемого материала в валковых прессах.

Для проведения исследований по оценке брикетированности была осуществлена предварительная подготовка материалов путем его фракционирования и достижения технологически приемлемого диапазона влагосодержания, позволяющего осуществить опытное брикетирование материала в валковом прессе.

Экспериментальные исследования брикетирования отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси на лабораторном прессовом оборудовании показали, что получение брикетов удовлетворительного качества возможно только с применением связующих добавок. По результатам применения нескольких видов связующих добавок, отличающихся составом и механизмом твердения, было определено, что для брикетирования исследуемых материалов может быть рекомендована комплексная связующая добавка органического происхождения.

Оценка и выбор рациональных технологических и энергосиловых параметров процесса брикетирования, а также условий получения брикетов из отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси осуществлялась на лабораторном (ЛВП - 500/110) и промышленном (ПБВ-19) валковых прессах (таблица 2).

Таблица 2 - Основные технические характеристики валковых прессов ИЧМ

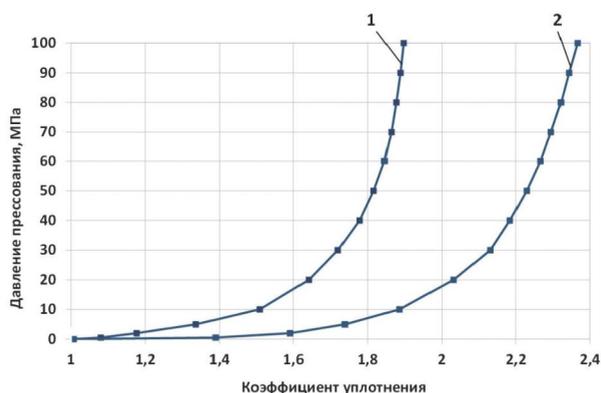
Технические характеристики	ЛВП - 500/110	ПБВ-19
Диаметр валка, мм	500	648
Ширина валка, мм	110	360
Тип формующих элементов	зубчато-желобчатая	
Типоразмер формующего элемента	R14 (32×30×15мм)	R17(40×36×18)
Объем формующих элементов, см ³	~11	~19...20
Частота вращения валков, мин ⁻¹	1 - 3	3 – 9

Для расчета и выбора энергосиловых и конструктивных параметров промышленного валкового пресса для брикетирования шихт на основе марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси экспериментально установлены основные физико-механические характеристики данных материалов: насыпная плотность; коэффициенты внешнего, внутреннего трения и бокового давления; (таблица 3), а также определены уравнения, описывающие сопротивление шихты сжатию.

Таблица 3 - Основные физико-механические характеристики исследуемых шихт

Характеристика шихты	Шихта на основе марганцевого концентрата	Шихта на основе шлакометаллической смеси
Насыпная плотность	1,445 г/см ³	1,228 г/см ³
Коэффициент внешнего трения	0,520	0,649
Коэффициент внутреннего трения	0,764	0,714
Коэффициент бокового давления	0,279	0,364

Сопротивление шихты сжатию является наиболее важной характеристикой, в интегральной форме отражающее способность материала уплотняться под внешним силовым воздействием, и именно она в значительной степени определяет энергосиловые параметры брикетирования в валковом прессе. Для шихт на основе исследуемых отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси характеристики сопротивления сжатию представлены в виде кривых прессования (рисунок 1), описывающих взаимосвязи коэффициента уплотнения от давления прессования, которые с высокой точностью описаны уравнениями (1), (2) степенного типа.



1 – шихта на основе марганцевого концентрата;
 2 – шихта на основе шлакометаллической смеси;

Рисунок 1 - Зависимость коэффициента уплотнения от давления прессования

Уравнения сопротивления шихт сжатию, полученные путем аппроксимации кривых прессования, представленных на рисунке 1:

- шихта на основе марганцевого концентрата

$$p = 0,028 \cdot K_y^{12,7}, \quad (1)$$

- шихта на основе шлакометаллической смеси

$$p = 0,0206 \cdot K_y^{9,77}, \quad (2)$$

где p – давление прессования, МПа;

K_y – коэффициент уплотнения, численно равный отношению текущей плотности брикета к насыпной плотности шихты.

С учетом физико-механических свойств шихты (таблица 3), уравнений (1), (2) и геометрических параметров очага деформации выполнены теоретические расчеты процесса брикетирования исследуемых материалов в валках диаметром 648 мм, шириной 360 мм с формующими элементами R17 (40x36x18 мм). Расчеты выполнены согласно методике, изложенной в работе [12]. Определен диапазон значений усилия P и момента M прессования, проведен сравнительный анализ полученных значений с результатами экспериментов по брикетированию исследуемых шихт на валковом прессе ПБВ19. Установлено, что обеспечение получения качественных брикетов из шихты на основе исследуемых отсеков марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси требуется валковый пресс, позволяющий воспринимать усилие прессования не менее 1500 кН, момент прессования до 100 кН·м и иметь мощность электродвигателя привода валков не менее 85 кВт. Из разработанного модельного ряда валковых прессов, с учетом возможного колебания физико-механических свойств шихт в производственных условиях, рациональным представляется использование одной из модификаций валкового пресса ПБВ-22М (рисунок 2). Основные характеристики пресса приведены в таблице 4.



Рисунок 2 - Валковый пресс ПБВ22М

**Таблица 4 - Основные технические характеристики
пресса ПБВ-22М для брикетирования мелких фракций
шлакометаллической смеси**

Максимальное усилие прессования, кН	2000
Максимальный момент прессования, кН·м	100
Устройство предохранения валков от перегрузок	Гидравлическое
Параметры брикета:	
- форма	Пельменеобразная
- тип формующего элемента	R17
- объем, см ³	19...21
- размеры, мм	40x36x18
Диаметр валков, мм	648
Ширина валков, мм	360
Частота вращения валков, мин ⁻¹	≈9...10
Мощность привода пресса, кВт	110

Ориентировочная производительность пресса ПБВ-22М при частоте вращения валков 9,0...10,0 мин⁻¹ составляет 14,1...15,4 т/ч, при брикетировании шихты на основе марганцевого концентрата и 13,2...14,5 т/ч при брикетировании шихты на основе шлакометаллической смеси. В процессе подготовки промышленной реализации процесса брикетирования, создается технологическая схема производства и выбирается состав оборудования.

На рисунке 3 приведен пример одного из вариантов принципиальной технологической схемы производства брикетов из ферросплавного сырья, которая применима к рассматриваемым в работе отсевам марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси. Согласно схеме, в первую очередь, выполняется прием, накопление и бункерование отсевов и связующего вещества (для жидкого связующего используются специальные емкости). Затем осуществляется дозирование и смешивание компонентов шихты, при необходимости выполняется тепловая обработка шихты и добавляется вода.



Рисунок 3 - Технологическая схема

Полностью подготовленная шихта выдается в прессовый бункер, туда же поступает подрешетный продукт процесса грохочения сырых брикетов. Брикетирование, в зависимости от физико-механических свойств шихты, осуществляется при значениях давления прессования до 100...150 МПа. После прессования сформированные брикеты подаются на грохот. Целые брикеты и фракция размером +10 мм направляются на упрочнение, а мелочь -10 мм возвращают на шихтовку. Процесс упрочнения брикетов, в зависимости от технологии производства, предусматривает вылеживание в течение 1-3 сут. или тепловую обработку, которая может осуществляться как при порционной подаче брикетов в тепловой агрегат, так и с использованием конвейерных тепловых агрегатов.

На рисунке 4 приведена принципиальная схема цепи аппаратов для производства брикетов из мелкофракционных отсевов ферросплавного сырья.

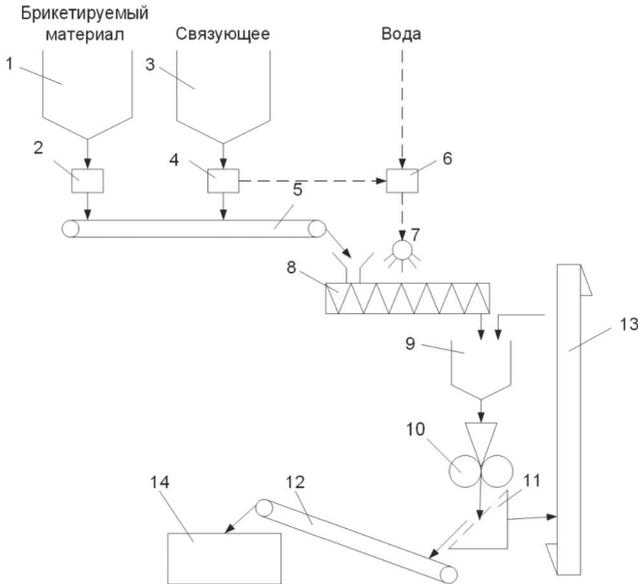


Рисунок 4 - Схема цепи аппаратов

В соответствии со схемой отсев из бункера 1 через дозатор 2 подается на конвейер 5. Туда же подается сыпучее связующее. В случае если связующее находится в жидком состоянии, то его подача осуществляется через дозатор для жидких веществ 6 и форсунку 7. Таким же образом может осуществляться подача воды, если это предусмотрено технологией. Компоненты шихты смешиваются в смесителе 8. При необходимости осуществляется тепловая обработка компонентов шихты. Способ нагрева определяется конструктивным исполнением смесителя. Готовая шихта подается в прессовый бункер 9, а из него в загрузочное устройство валкового пресса 10. Готовые брикеты классифицируются на грохоте 11. Подрешетный продукт, в виде фракции -10 мм, транспортируются устройством для возврата мелочи 13 в прессовый бункер. Кондиционные брикеты (фракция +10 мм),

с помощью конвейера 12, подаются в емкость 14, в которой происходит упрочнение продукта перед отправкой потребителю.

Окончательное согласование количества и размещения элементов оборудования и массопотоков материалов в технологической линии определяются при проектировании и составлении технологического регламента на производство брикетов с учетом конкретных условий предприятия, принятой технологии и компоновки оборудования в цехе.

Выводы. Дана краткая характеристика разработки и внедрения технологий и прессового оборудования для брикетирования мелкофракционного сырья в ферросплавной промышленности. На примере результатов исследования брикетированности отсевов марганцевого концентрата и шлакометаллической смеси Темиртауского электрометаллургического комбината в общем виде представлен системный подход к созданию технологии и выбору валкового пресса для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов в ферросплавном производстве.

Список литературы

1 Носков В.А. Валковый пресс для брикетирования мелкофракционных отходов производства и сырья // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1999. – №2-3. – С.100-102.

2 Маймур Б.Н., Худяков А.Ю., Петренко В.И., Ващенко С.В., Баюл К.В. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода // *Бюл. научно-технической и экономической информации «Черная металлургия»* – №1. – 2016. – С.74-82.

3 Маймур Б.Н., Петренко В.И., Лебедь А.Т. Совершенствование конструкции и улучшение эксплуатационных характеристик валковых брикетных прессов // *Бюл. научно-технической и экономической информации «Черная металлургия»* – №12. – 2011. – С. 67-71.

4 Баюл К.В., Лебедь А.Т., Ващенко С.В., Худяков А.Ю. Состояние разработок и направления совершенствования конструкции и параметров эксплуатации валковых прессов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – №7. – С.117-120.

5 Носков В.А., Маймур Б.Н., Можаренко Н.М., Петренко В.И. Разработка технологии производства брикетов из марганецсодержащих отходов. Сообщ.1 // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1998. – №4. – С. 101-103.

6 Носков В.А., Маймур Б.Н., Учитель А.Д. и др. Технологические основы производства брикетов из отсевов ферросплавов на КГГМК

«Криворожсталь» // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – №2. – С. 122-125.

7 *Носков В.А., Маймур Б.Н., Петренко В.И., С.В. Ващенко др.* Разработка и исследование связующих добавок для брикетирования отсевов силикомарганца // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. ИЧМ*. – Киев: Наукова думка. – 2005. – Вып.10. – С.321-326.

8 *Носков В.А., Большаков В.И., Куцин В.С. и др.* Установка брикетирования отсевов ферросплавов // *Сб. научн. тр. Национального горного университета*. – 2004. – №19 – Т.5. – С.177-186.

9 *Носков В.А., Маймур Б.Н., Петренко В.И., Баюл К.В. и др.* Научно-методические основы определения характеристик и режимов процесса брикетирования мелкофракционных материалов // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. ИЧМ*. – Киев: Наукова думка. – 2002.- Вып.5. – С.344-347.

10 *Ващенко С.В., Маймур Б.Н., Петренко В.И., Муравьева И.Г.* Разработка методического подхода к определению уплотняемости прессуемых шихт с учетом их свойств // *Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов*. – Выпуск 14 (2011). – Днепропетровск, 2011. – С. 85 - 92.

11 *Ващенко С.В., Маймур Б.Н., Петренко В.И., Муравьева.* Разработка аналитического метода прогнозирования и оценки сопротивления шихт сжатию с учетом их свойств // *Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов*. – Выпуск 4 (81). – Днепропетровск, 2012. – С. 3 – 10.

12 *Bayul K. V., "Effect of the geometrical parameters of roll press forming elements on the briquetting process: analytical study," Powder Metallurgy and Metal Ceramics July 2012, Volume 51, Issue 3-4, pp 157-164.*

Баюл К.В., кандидат технических наук, e-mail: baiulkonstantin@gmail.com, isibriquette@gmail.com

Худяков А.Ю., кандидат технических наук, e-mail: isibriquette@gmail.com

Ващенко С.В., кандидат технических наук, e-mail: isibriquette@gmail.com