

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ (ШЛАМОВ) КОНВЕРТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО “СЕВЕРСТАЛЬ” ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛОТНОУПАКОВАННЫХ БРИКЕТОВ

© 2009 В.Н. Кокорин, О.Г. Крупенников, А.С. Марков, А.А. Митюшкин

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

В промышленной практике используются различные методы брикетирования (окусковывания) неметаллических и железосодержащих тонкодисперсных материалов: агломерация (горячее окусковывание горных пород), грануляция (горячая и холодная без добавки и с добавкой связующего), окомковывание (производство металлургических окатышей), брикетирование (прессование), отмечают авторы настоящей статьи.

Ключевые слова: методы брикетирования, тонкодисперсные материалы, агломерация, грануляция.

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

А именно, конверторный шлам на 41...44 % состоит из оксидов железа (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4), остальное – железо (Fe-б). Как показали рентгеноструктурные исследования, оксидная пленка распространена с высокой степенью равномерности, достигая до 15...20 % толщины отдельного фрагментарного элемента (частицы).

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

Установлен среднестатистический диаметр фракций шлама: $100 < D_{\text{CP}} < 500$ мкм.

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

Отмечено наличие в конвекторном шламе крупных фрагментов:

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

Эксперименты по определению характеристик прессования осуществляли путем обжатия брикетируемой массы в замкнутом пространстве под фиксированным давлением. Прессование производили на гидравлическом прессе номинальным усилием 1600 кН по схеме одностороннего прессования ($h_0 / d_0 < 1$) при давлениях от

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

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

Крупенников Олег Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры “Технология машиностроения”.

Марков Александр Сергеевич, аспирант.

Митюшкин Антон Александрович, аспирант.

50 МПа до 700 МПа, что соответствует силовым режимам и схемам нагружения брикетировочных валковых прессов.

Среднюю (интегральную) плотность брикетов определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 18898 – 83 с использованием аналитических весов модели ВЛР – 200, а также путем соотношения объемных и массовых характеристик.

С целью определения закономерностей формоизменения, уплотнения и энергосиловых параметров брикетирования проведены испытания по определению:

1. Насыпной плотности (ГОСТ 19440- 81)

$$d_{\text{НАС}} = (m_1 - m_2) / V, \quad (1)$$

где m_1 – масса стакана, г; m_2 – масса стакана со шламом, г; V – объем стакана, см³.

$$d_{\text{НАС}} = 1,4 \text{ г/см}^3$$

2. Удельного объема порошка при свободной засыпке:

$$V_{\text{УД}} = 1 / d_{\text{НАС}}; \quad (2)$$

$$V_{\text{УД}} = 0,714 \text{ см}^3/\text{г}$$

3. Объема утряски:

$$V_{\text{УТР}} = V / m; \quad (3)$$

$$V_{\text{УТР}} = 0,25 \text{ см}^3/\text{г}$$

4. Плотности утряски:

$$d_{\text{УТР}} = 1 / V_{\text{УТР}}; \quad (4)$$

$$d_{\text{УТР}} = 4,0 \text{ г/см}^3$$

5. Относительного объема:

$$b = dk / d_{\text{НАС}}; \quad (5)$$

где dk – плотность порошка, соответствующая остаточной пористости брикета 80 % (6,23 г/см³);

$$b = 4,5.$$

6. Относительной плотности фракции порошка:

$$c = 1 / b, \quad (6)$$

$$c = 0,22.$$

В рамках экспериментальных работ были

проведены комплексные исследования с целью выяснения функциональных связей между контролируемыми входными технологическими параметрами и выходными откликами, определяющими характеристики процессов утилизации. Определено (рис. 1-4) количественное и качественное влияние массовой доли жидкого стекла (%), давления прессования (q , МПа) и времени перемешивания

кую прочность на сжатие брикетов ($\sigma_{\text{в}}^{\text{сж}}$, МПа); относительную плотность ($\rho_{\text{отн}}$, %); на ударную прочность (хрупкость) – процент (%) отсева и относительную высоту брикета (h/d).

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать вывод о детерминированной связи рассматриваемых характеристик. В частности, с увеличением времени хранения отпрессованных

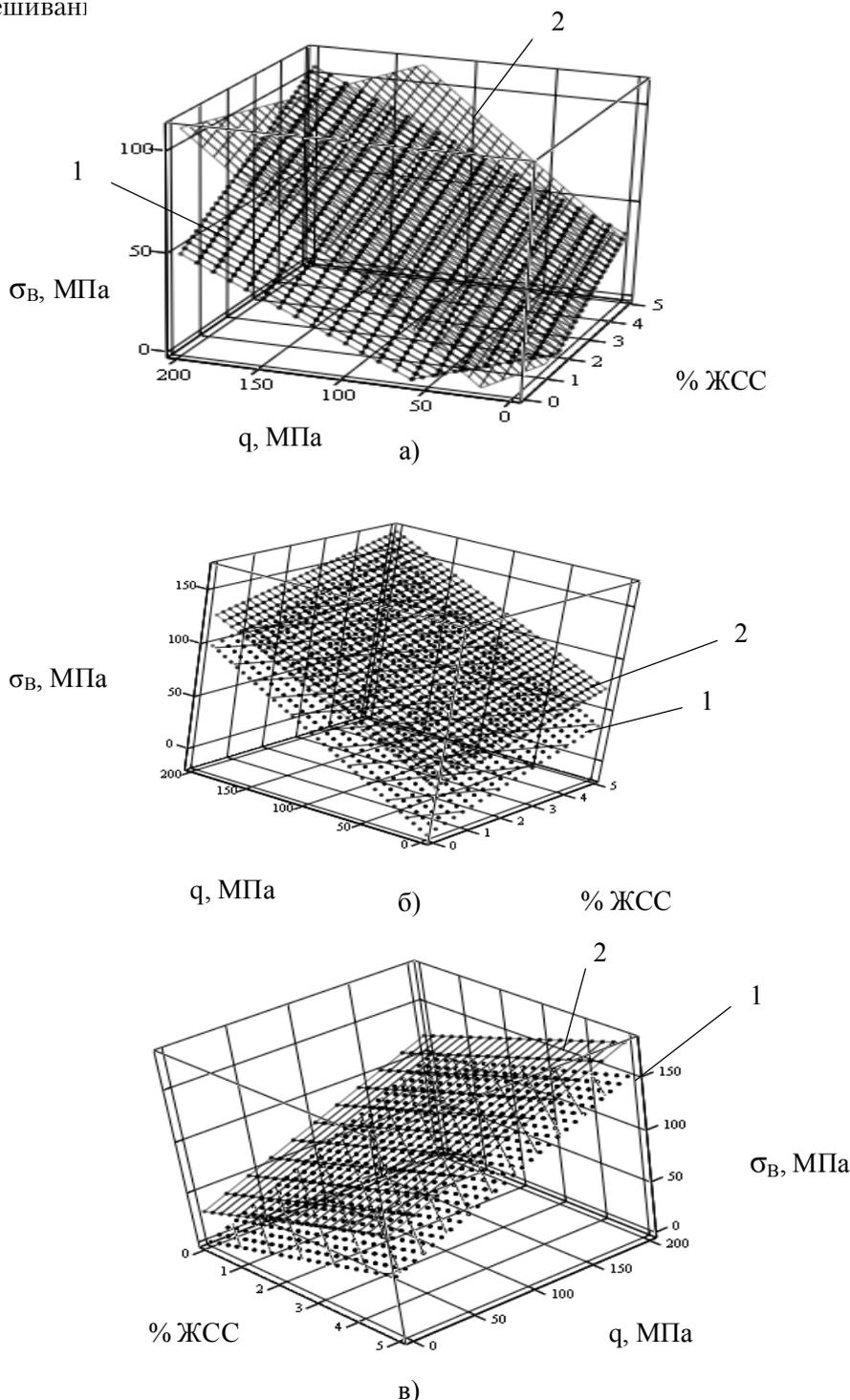


Рис. 1. Влияние массовой доли жидкого стекла (ЖСС), усилия прессования (q) и времени выдержки (T) на механическую прочность брикета:
 1 – при времени перемешивании 1 мин; 2 – при времени перемешивания 5 мин;
 а, б, в – соответственно сырые брикеты через 1ч, через 3 ч, через 24 ч

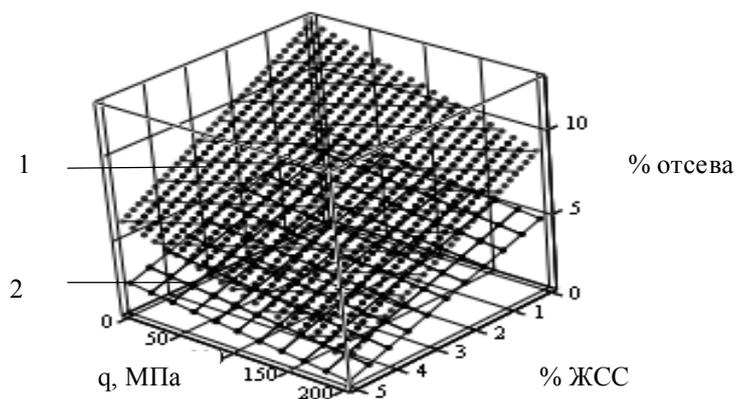


Рис. 2. Влияние массовой доли жидкого стекла, усилия прессования и времени выдержки на процент отсева:
1 – при времени перемешивании 1 мин; 2 – при времени перемешивания 5 мин

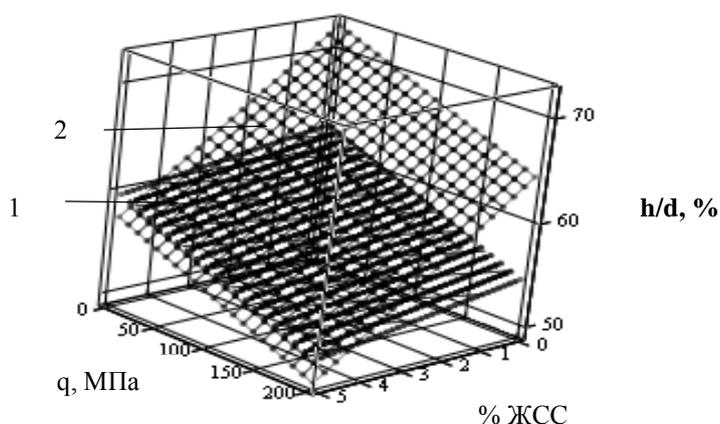


Рис. 3. Влияние массовой доли жидкого стекла, усилия прессования и времени выдержки на отношение высоты брикета к его диаметру:
1 – при времени перемешивании 1 мин; 2 – при времени перемешивания 5 мин

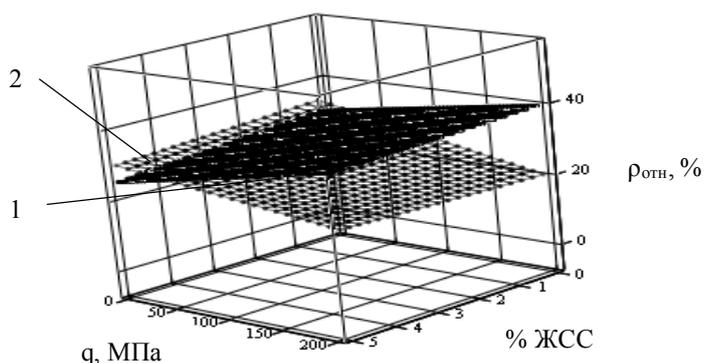


Рис. 4. Влияние массовой доли жидкого стекла, усилия прессования и времени выдержки на плотность брикета:
1 – при времени перемешивании 1 мин; 2 – при времени перемешивания 5 мин

брикетов, продолжительности перемешивания и массовой доли жидкого стекла увеличивается механическая прочность брикетов.

Причем, с увеличением давления прессования, массовая доля отсева фракций с $D_{ср} < 5$ мм уменьшается.

Механические испытания брикетов на сжатие проводили при их статическом нагружении

на испытательной машине УМД – 20. Процесс останавливали при образовании развитой макротрещины. Испытания образцов проводили в течение 1, 3 и 24 часов после изготовления смеси и брикетирования.

Определение процента отсева проводили по нормам отрасли. Отпрессованные брикеты суммарной массой 10 кг сбрасывали с высоты два

метра на бетонное основание. Затем производили повторное сбрасывание данной партии. По итогам двухкратного сбрасывания производили рассев фрагментов с целью установления их granulометрического состава.

Устанавливали массовую долю (в %) тонких фрагментов, имеющих усредненный диаметр $d_{\text{уср}} \leq 5\text{мм}$, считающихся отсевом, идущим на повторную переработку (утилизацию).

На рис. 1 представлена графическая интерпретация функциональных зависимостей $\sigma_b = f$ (% массовой доли жидкого стекла; q ; T).

Как видно из рис. 1, существует прямая детерминированная связь между уровнем механических свойств брикетов и массовой долей жидких связующих сред (ЖСС). Причем, наибольшая прочность брикета наблюдается после относительно длительного периода твердения (24 часа).

Установлено (рис. 2), что увеличение давления q приводит к уменьшению % отсева, что объясняется уменьшением свободного порового пространства. Следует отметить, что увеличение в два раза % жидкого стекла способствует существенному уменьшению (до двух раз) % отсева, что можно объяснить улучшением условий механического перемещения объемов дискретного материала, внедрением тонких фрагментов в поры. Установлена обратная функциональная связь % отсева от времени перемешивания и удельных усилий прессования.

Выявлено, что доминирующим фактором в процессе изменения геометрии брикета (относительной высоты h/d) является давление прессования (рис. 3).

Наиболее информативными являются результаты экспериментов по выявлению соотношений между относительной плотностью брикета и параметрами процесса прессования, представленные на рис. 4.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлен эффективный диапазон технологических параметров процесса подготовки и переработки металлургических отходов, а так же выявлены основные закономерности изменения формы брикетов. Это позволило усовершенствовать существующую технологию брикетирования и повысить прочность получаемых брикетов.

На процесс формирования требуемого уровня механических, технологических и эксплуатационных свойств, как было выявлено вышеприведенными исследованиями, влияет много факторов, между которыми существуют сложные зависимости с различной степенью индетерминизма, и дать комплексную оценку на основании описанных результатов сложно. Поэтому экспе-

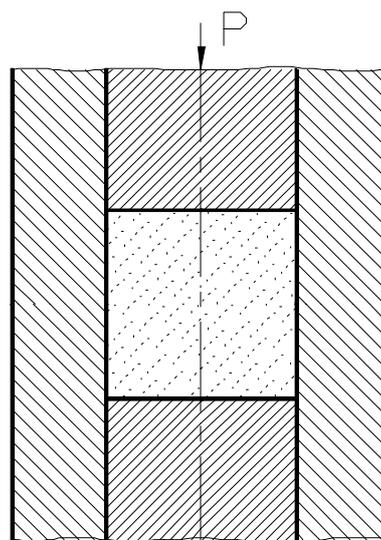


Рис. 5. Технологическая схема прессования

риментальные исследования были дополнены и расширены путем проведения аналитико-экспериментальных работ. На основе методов математической статистики и теории планирования эксперимента был поставлен и реализован полный факторный эксперимент с использованием технологической схемы (рис. 5).

Исходя из анализа установленных основных параметров процесса на основании теории подобия и размерностей выделены и представлены в безразмерном виде три основные технологические факторы:

1. Массовая доля (отн.) жидкого стекла: $X1 = [\text{массовая доля жидкого стекла}]$
 $X1 \in [0,025...0,05]$
2. Давление прессования: $X2 = q[q / y_r]$
 $X2 \in [0,42...1,7]$
3. Продолжительность (время) перемешивания смеси: $X3 = T[T_n / T_{cm}]$
 $X3 \in [0,002...0,01]$

Параметры оптимизации представлены в виде: $Y_1 = \sigma_b^{жк}$ (1 час); $Y_2 = \sigma_b^{жк}$ (2 часа); $Y_3 = \sigma_b^{жк}$ (24 часа); $Y_4 = \rho_{отн}$; $Y_6 = h/d$; $Y_7 = \%$ отсев пыли.

В соответствии с планом эксперимента проведено $N=23$ (8) опытов с трехкратной воспроизводимостью каждой точки (табл. 1). Статистическая обработка полученных результатов проводилась при использовании стандартной программы регрессионного и дисперсионного анализа по методу наименьших квадратов.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= -0,33 + 8x_1 + 0,46x_2 + 33,125x_3; \\
 y_2 &= -0,13 + 7,7x_1 + 0,52x_2 + 30,94x_3; \\
 y_3 &= -0,07 + 9,9x_1 + 0,45x_2 + 33,44x_3; \\
 y_4 &= 0,01 + 5x_1 + 0,16x_2 + 3,125x_3;
 \end{aligned}$$

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента типа N=23

№	ЖСС, x ₁	q, x ₂	T, x ₃	$\sigma_B^{сж}$			$\rho_{отн}$ y ₄	h/d, y ₅	Отсев, y ₆
				1 час y ₁	3 часа y ₂	24 часа y ₃			
1	0,025	0,42	0,002	0,21	0,33	0,42	0,21	0,59	0,082
2	0,025	1,7	0,002	0,63	1	1,04	0,35	0,54	0,06
3	0,05	0,42	0,002	0,42	0,5	0,67	0,34	0,58	0,055
4	0,05	1,7	0,002	0,86	1,25	1,25	0,58	0,52	0,02
5	0,025	0,42	0,01	0,33	0,63	0,63	0,30	0,62	0,04
6	0,025	1,7	0,01	1,08	1,23	1,23	0,42	0,57	0,028
7	0,05	0,42	0,01	0,5	0,79	0,79	0,28	0,56	0,02
8	0,05	1,7	0,01	1,27	1,42	1,42	0,58	0,48	0,008

$$y_5 = 0,67 - 1,8x_1 - 0,047x_2 + 2,02 \cdot 10^{-8}x_3;$$

$$y_6 = 0,119 - 1,07x_1 - 0,016x_2 - 3,78x_3.$$

Представленная математическая модель позволяет управлять технологическими режимами утилизации отходов, оптимизировать условия гарантированного получения качественного продукта (брикета).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин В.Н. и др. Технология переработки в брикеты дисперсных металлосодержащих смесей. Всероссийское НТК "Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы". Волжский, 1997.
2. Кокорин В.Н. и др. Ресурсосберегающая технология утилизации мелкодисперсных маслосодержащих шламов в прессованные брикеты. Там же.

**RESEARCH OF PROCESS SHAPE FORMATION OF FERRIFEROUS WASTE (SLIME)
CONVERTER MANUFACTURES OF OPEN SOCIETY "SEVERSTAL"
BY MANUFACTURE CLOSE-PACKED BRIQUETTES**

© 2009 V.N.Kokorin, O.G.Krupennikov, A.S.Markov, A.A.Mitjushkin

Ulyanovsk State Technical University

In an industrial practice various methods of bracketing nonmetallic and ferriferous fine materials are used: agglomeration, granulation, pelletizing, bricketing (pressing), authors of present clause mark.

Key words: methods of bracketing, fine materials, granulation.

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

*Oleg Krupennikov, Candidate of Technics, Associate Professor
at the Manufacturing Engineering Department.*

Alexander Markov, Graduate Student.

Anton Mityushkin, Graduate Student.