

Ковалев Д. А. /д. т. н./, Белова А. П.  
НМетАУ

## Разработка технологии брикетирования окалины на цементной связке методом вибропрессования

Выполнена оценка влияния технологических факторов на прочность брикетов полученных на портландцементной связке: влажность шихты, доля крупной фракции окалины, подпрессовка, содержание цемента, работа активации цемента. Установлен оптимальный состав шихты и технологические параметры получения брикетов. Определяющим показателем состава шихты установлено водоцементное отношение ( $W/C = 0,5-0,625$ ) не зависящее от расхода и марки цемента. Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** железорудные брикеты, окалина, портландцемент, технологические параметры

Some experiments of mill scale briquettes production with Portland cement bond were carried out in order to choose technological parameters. There are: five technological parameters such as consumption of Portland cement, moisture, activation work, content of coarse fraction of mill scale and preliminary load to achievement the high metallurgical quality of briquettes. The ratio of water to Portland cement ( $W/PC = 0,5-0,625$ ) is the most definite parameter and independent from consumption of Portland cement.

**Keywords:** iron briquettes, mill scale, Portland cement, technological parameters

### Состояние проблемы

Утилизация пылей и шламов металлургического производства является важной проблемой черной металлургии [1-4]. Ее решение позволит экономить ежегодно несколько миллионов тонн руды, уменьшить загрязнение воздушного бассейна и существенно уменьшить экологическую обстановку.

Традиционные методы утилизации отходов предусматривают их использование в качестве добавок в аглошихту. Однако высодисперсные шламы ухудшают показатели агломерации, а их подготовка требует дополнительных затрат.

Одним из путей утилизации отходов может стать их безобжиговое окускование с последующим использованием в шихте пылей и шламов доменных печей и конверторов.

Наиболее распространенным видом обработки металлов является прокатное производство. В нашей стране более 80 % выплавляемой стали поступает в этот передел. Основным металлосодействующим отходом является окалина горячей прокатки и термообработки. Ее удаление с поверхности металла осуществляется травлением в растворах серной соляной кислоты или щелочах и дробеструйной очисткой. Окалина, об-

разующаяся при термообработке, представлена фракцией около 0,2 мм. При дробеструйной зачистке металла возникает пыль менее 1 мм. Химический состав твердой фазы представлен оксидными соединениями: гематит  $Fe_2O_3$ ; магнетит  $\gamma Fe_2O_3$ ; вюстит  $FeO$  и основная масса – магнетит  $Fe_3O_4$ . Общее содержание железа в окалине более 70 %.

### Цель работы

Исследование влияния технологических факторов брикетирования на прочность брикетов, полученных методом вибропрессования на цементной связке: влажность шихты, доля крупной фракции окалины, нагрузка для подпрессовки при виброуплотнении, расход цемента, работа активации цемента перед подачей в шихту.

### Методика исследования

В качестве исходных материалов применяли прокатную окалину и цемент М400. Химический состав материалов приведен в табл. 1.

Компоненты шихты были предварительно подготовлены по гранулометрическому составу окалины, как отношение крупной фракции (3-5 мм) к мелкой (0-3 мм) и влажности шихты, которая выбрана с учетом проведенных ранее опытов [5].

Таблица 1

Химический состав шихтовых материалов

Материалы	Содержание, %									
	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	P	C
Окалина	74,1	38,25	60,87	-	-	-	0,21	0,015	0,06	0,215
Портландцемент	2,1	3	-	67	2,6	5	22,4	-	-	-

Для предварительной активации цемента была выбрана шаровая мельница диаметром 210 мм и шириной 400 мм. Масса стальных шаров различного диаметра от 5 мм до 20 мм составляла 2 кг, а цемента – 0,5 кг. Скорость вращения составляла 50 об/мин. При такой скорости вращения происходит ударное разрушение и истирание частиц. Цемент активировался в течение 5, 10 и 15 минут. Работа активации цемента для шаровых мельниц составляет 25-35 кВтч/т [6]. При пересчете на лабораторный эксперимент, работа активации соответствует 7, 15 и 22 кВтч/кг.

После подготовки шихтовые материалы для получения брикетов загружались в цилиндрическую пресс-форму. Уплотнение шихты производили воздействием вибрации с частотой 50 Гц и амплитудой колебания 0,35 мм, а также одновременным воздействием нагрузки для подпрессовки. Брикеты набирали прочность в обычных условиях ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $P = 760\text{ мм рт. ст.}$ ) на протяжении 28 суток.

Прочность брикетов определяли на универсальной испытательной машине FP-100/IR9/82.

Определение прочности производили нагружением образцов непрерывно со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в

пределах  $0,6 \pm 0,4$  МПа/с. С каждым опытом проводили по 2 измерения прочности.

#### Результаты исследования

Для полиномиального описания процесса был выбран план Хартли [7]. В план включены следующие факторы: влажность шихты, доля крупной фракции окалины, нагрузка для подпрессовки, содержание цемента в шихте, работа активации цемента. Нумерацию факторов выбрали следующую: влажность шихты, % –  $X_1$ ; доля крупной фракции окалины, ед. –  $X_2$ ; нагрузка подпрессовки, кг/см<sup>2</sup> –  $X_3$ ; содержание цемента в шихте, % –  $X_4$ ; работа активации цемента, кВтч/кг –  $X_5$ .

План эксперимента предусматривал 27 опытов. Порядок проведения всех 27 опытов был определен в соответствии с принципом рандомизации. Исходя из условий приведения для стандартной матрицы, выбран интервал варьирования и величины уровней факторов, которые представлены в табл. 2. Определены натуральные значения факторов и рассчитаны составы шихт для 27 опытов. В случае если параметры оптимизации (сопротивление сжатию) имеют минимальное и максимальное значение, опыт проводили дважды. Также был проведен дополнительный опыт для нулевой точки.

Результаты исследования представлены в табл. 3.

Таблица 2

Натуральные значения факторов для уровней

	$X_1$ , %	$X_2$ , ед.	$X_3$ , кг/см <sup>2</sup>	$X_4$ , %	$X_5$ , кВтч/кг
Уровни + верхний	7	0,7	0,3	10	21,9
0 нулевой	5	0,5	0,2	9	14,6
- нижний	3	0,3	0,1	8	7,3
Интервал варьирования	2	0,2	0,1	1	7,3

Таблица 3

Холодная прочность брикетов

Номер опыта	Значение прочности, кг/см <sup>2</sup>		Номер опыта	Значение прочности, кг/см <sup>2</sup>	
	Экспериментальное	Расчетное		Экспериментальное	Расчетное
1	12,78	19,91	15	27,14	27,38
2	10,03	15,71	16	17,6	16,39
3	7,03	1,27	17	40,86	45,12
4	21,29	13,51	18	25,57	21,26
5	9,05	11,7	19	11,26	14,57
6	21,04	24,21	20	44,99	42,76
7	16,52	12,43	21	34,76	35,99
8	7,08	1,8	22	54,08	39,75
9	50,27	53,02	23	25,07	38,41
10	16,52	19,79	24	75,09	51,31
11	35,3	34,92	25	16,27	39,06
12	8,75	6,92	26	83,09	55,83
13	5,95	8,08	27	30,56	56,82
14	11,06	13,71			

## ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

По полученным экспериментальным значениям прочности брикетов была составлена математическая модель.

$$Y = 45,09 + 3,33x_1 + 3,37x_2 - 2,57x_3 + 6,14x_4 + 0,18x_5 - 27,20x_1^2 - 5,74x_2^2 - 6,04x_3^2 + 0,07x_4^2 + 11,21x_5^2 - 0,46x_1x_2 - 4,94x_1x_3 - 4,04x_1x_4 + 2,95x_1x_5 + 1,92x_2x_3 + 1,11x_2x_4 - 1,63x_2x_5 + 2,93x_3x_4 - 3,21x_3x_5 - 5,14x_4x_5, \quad (1)$$

где  $Y$  – прочность брикетов.

Проверка адекватности с помощью критерия Фишера подтвердила достаточную адекватность математической модели.

Расчетные данные по зависимости прочности брикетов от технологических параметров приведены на рис. 1-3.

Рисунок демонстрирует график изменения прочности брикетов в зависимости от влажности шихты при различном содержании цемента. Определенную роль в прочности брикета играет то, что гидратация цемента протекает благоприятно и достаточно полно лишь при некотором избытке воды по сравнению с тем коли-

чеством, которое необходимо для гидратации цемента.

Уменьшение этого избытка ниже определенных пределов влечет за собой неполноту гидратации и, следовательно, понижение прочности брикета. При низком содержании воды (3 %) смесь была практически сухой и брикет ломался во время извлечения его из пресс-формы. Большое количество влаги (7 %) также отрицательно влияет на прочность брикетов. Оптимальное количество – 5 %, и не зависимо от расхода цемента. Водоцементное отношение  $V/C$  для максимальной прочности изменяется в пределах 0,5-0,625.

На рис. 2 представлен график изменения прочности брикетов в зависимости от доли крупной фракции шихты при различной влажности. Подбор оптимального гранулометрического состава шихты и влажности, обеспечивающий ее наименьшую порозность, позволяет существенно повысить прочность брикетов. При добавлении к крупным зернам окалины более мелких, при оптимальном соотношении 60 %:40 %, силы сцепления частиц максимальны [8].

С увеличением нагрузки подпрессовки при производстве брикетов формируется более уплотненная структура брикета с меньшим количеством пор и, следовательно, прочность самого брикета возрастает.

На рис. 3 представлен график изменения прочности брикетов в зависимости от содержания цемента при различной работе активации.

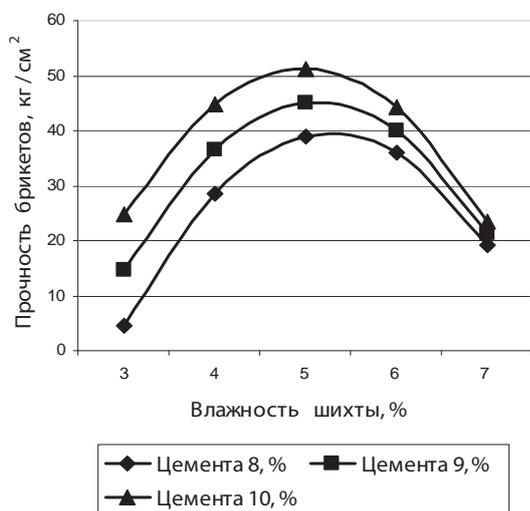


Рис. 1. Изменение прочности брикетов в зависимости от влажности шихты при различном содержании цемента

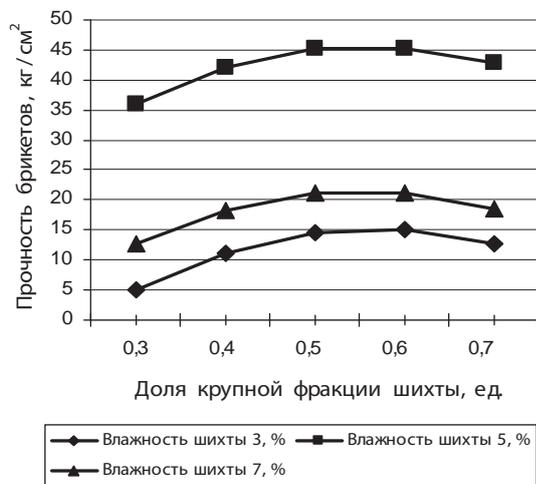


Рис. 2. Изменение прочности брикетов в зависимости от доли крупной фракции шихты при различной влажности

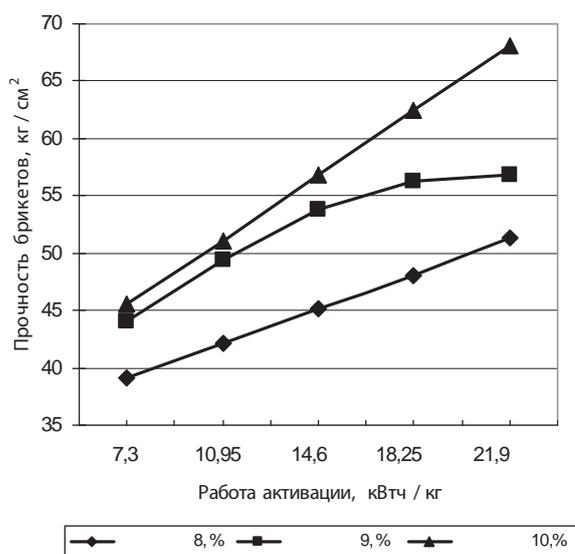


Рис. 3. Изменение прочности брикетов в зависимости от содержания цемента при различной работе активации

Как видно из рис. 3, предварительная активация цемента повышает прочность брикетов. Уже при нижнем уровне содержания цемента 8 % достигается необходимая прочность – 40 кг/см<sup>2</sup>. При большем времени активации цемента прочность брикетов возрастает.

Механически активированные зерна цемента при взаимодействии с водой за тот же период времени образуют большее количество геля и, следовательно, повышается скорость упрочнения брикетов, снижается время выдержки брикетов и становится реальным снижение количества цемента для производства брикетов.

#### Выводы

Установлено влияние технологических параметров брикетирования на прочность брикетов, полученных методом вибропрессования. Водоцементное отношение В/Ц = 0,5-0,625 вне зависимости от марки и расхода цемента. Механическая активация цемента повышает прочность брикета. При активации цемента 10 мин с минимальным количеством его в шихте 8 % прочность брикета достигает 40 кг/см<sup>2</sup>, что позволяет снизить расход цемента.

#### Библиографический список

1. Алехин А. А., Тарабрина Л. А., Сукинова Н. В. Опыт утилизации металлургических шламов. – Сталь. – 2000. – № 12. – С. 84-85.

2. Рашииков В. Ф., Тахаутдинов Р. С., Бодяев Ю. А. Утилизация железосодержащих отходов в ОАО «ММК». – Металлург. – 2004. – № 7. – С. 19.

3. Брикетты из мелкодисперсных отходов металлургического и коксохимического производств – экономически выгодная замена традиционной шихты металлургических переделов. – Металлург. – 2002. – № 10. – С. 19-22.

4. Проблемы экологии и утилизации техногенного сырья в металлургическом производстве / Ю. С. Карабасов, Ю. С. Юсфин, И. Ф. Курнунов и др. – Металлург. – 2004. – № 8. – С. 27-33.

5. Ковалев Д. А., Поповская А. П., Ягольник М. В. Исследование прочности брикетов из прокатной окалины на цементной связке. – Научные вести. Современные проблемы металлургии. Днепропетровск. – 2010. – Вып. 12. – С. 100-107.

6. Липилин А. Б., Коренюгина Н. В., Векслер М. В. Селективная дезинтеграторная активация цемента портландцемент (СДАП). – Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 2-4

7. Ковшов В. Н. Постановка инженерного эксперимента. – Киев-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 120 с.

8. Лотош В. Е., Окунев А. И. Безобжиговое окускование руд и концентратов. – М.: Наука, 1980 – 216 с.

*Поступила 16.02.2015*

