

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БРИКЕТОВ ИЗ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ НА ЦЕМЕНТНОЙ СВЯЗКЕ

*В данной работе исследовано влияние влажности шихты на холодную прочность брикетов, из прокатной окалины с использованием цемента в качестве связующего. Получены зависимости влияния влажности шихты на прочность брикетов при выдержке в течение 28 суток. Установлено, что максимальная прочность 5,78 МПа на брикет достигается при влажности 6% от общей массы шихты.*

*Ключевые слова: прокатная окалина, цементная связка, вибропрессование, прочность брикетов.*

*У даній роботі досліджено вплив вологості шихти на холодну міцність брикетів, з прокатної окалини з використанням цементу в якості зв'язки. Отримано залежності впливу вологості шихти на міцність брикетів при витримці протягом 28 діб. Встановлено, що максимальна міцність 5,78 МПа на брикет досягається при вологості 6% від загальної маси шихти.*

*The major objective of this work is to develop cold bonded briquetting technology to use the recycling of mill scale. The influence of humidity on the strength of cold bonded briquettes, using cement as binder, was studied experimentally. The test results indicate that cold bonded briquette strength 5,78 MPa is feasible at levels of humidity up to 6.% of the total charge weight.*

**Состояние проблемы.** Производство брикетов из отходов металлургических предприятий является одним из наиболее актуальных направлений подготовки сырья для металлургических переделов.

Разработка составов шихт для производства брикетов осуществляется с учетом технологической ценности исходных материалов: содержание железа, марганца, оксида кальция,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также влияние вредных примесей:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ , соединение серы.

Введение в шихту связующих добавок является универсальным технологическим приемом при брикетировании. Требования к свойствам связующих в большинстве случаев заключается в высокой поверхностной активности, достаточно высокой скорости твердения, термостойкости.

Прокатная окалина - один из видов металлургических отходов с наибольшим содержанием железа, которую можно вернуть в производство с высокой эффективностью. Она представляет собой мелкодисперсный материал с содержанием  $\text{Fe}_{\text{общ.}}$  65 – 75 %. Прокатную окалину применяют как промывочный материал для горна доменной печи [1], наиболее рационально использовать ее в виде брикетов.

Выбор связующих добавок для получения брикетов должен обеспечить заданные требования к ним из конкретно используемых отходов. При производстве брикетов из прокатной окалины известно применение

неорганической добавки – портландцемента, который содержит необходимые компоненты для формирования прочности брикета и в дальнейшем формирования шлака в доменной печи. Недостатком этого связующего является дополнительное количество  $\text{SiO}_2$ , которое переходит в готовый продукт.

Брикеты из окалины широко применяются в шихте доменных печей. Технологии их производства достаточно разнообразны [2,3], но некоторые существенные аспекты остаются не исследованными. В частности, мало внимания было уделено такому важному фактору, как влажности шихты. Особенно это касается брикетов получения на цементной связке и возможности снижения расхода цемента.

**Анализ достижений и публикаций.** Брикетирование природных мелких руд и техногенных материалов с использованием различных связующих веществ применяется с XIX в. [4]. Впервые использовать портландцементную связку при производстве брикетов предложил Л. Юзбашев. В дальнейшем различными исследователями было показано, что оптимальный расход цемента лежит в пределах 8 – 10 % [5].

Железосодержащие брикеты на цементной связке, изготавливаемые из мелкодисперсных металлургических отходов производства (окалины, колошниковой пыли, шламов), должны иметь высокую холодную прочность (не менее  $40 \text{ кг/см}^2$ ) и противостоять нагрузкам, возникающим при восстановительно-тепловой обработке. Они не должны разрушаться при высокой скорости нагрева в восстановительной атмосфере под нагрузками, характерными для условий доменной печи [6].

**Постановка задачи.** Благодаря совершенствованию техники и технологии брикетирования, в настоящее время она находит применение при утилизации отходов и подготовки сырья для доменной плавки. Решение задачи требует углубленных знаний (для получения металлургических брикетов необходимой холодной прочности). Это относится к брикетам, получаемым на цементной связке методом вибропрессования.

В представленной работе проведено исследование влияния влажности шихты на холодную прочность брикетов. Прочность брикета достигается вследствие взаимодействия цемента с водой, что приводит к образованию гидросиликатов кальция, гидроалюминатов кальция, гидроалюмоферритов кальция, портландита ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) и других соединений сложного состава, которые обуславливают схватывание и твердение формуемой смеси [7].

**Методика исследования.** В качестве исходных материалов применяли: прокатную окалину и цемент М 400. Химический состав материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав материалов

	Химический состав шихтовых материалов, %									
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	S	P	C
Ока-лина	38,25	60,87	-	-	-	0,21	0,38	0,015	0,06	0,215
Порт-ланд-цемент	3	-	67	2,6	5	22,4	-	-	-	-

Минералогический состав цемента, %:

- трехкальциевый силикат 3CaO-SiO<sub>2</sub> (алит C<sub>3</sub>S) — 45;
- двухкальциевый силикат 2CaO-SiO<sub>2</sub> (белит C<sub>2</sub>S) — 20;
- трехкальциевый алюминат 3CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>3</sub>A) — 4;
- четырехкальциевый алюмоферрит 4CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>4</sub>AF) — 10.

Гранулометрический состав окалины был выбран как отношение крупной фракции (1–5 мм) к мелкой (0–1 мм) соответственно 70 % : 30 %. При таком соотношении наиболее оптимальна поровая структура матер, ала, т.к. крупнее зерно, чем крупнее, зерно, .

Влажность шихты варьировали от 4 % до 9 %. Такой диапазон был выбран после анализа литературных данных по твердению цемента при производстве бетона [8]. Отношение воды к цементу важно для формирования свойств цементной связки. При производстве бетона используют такие материалы как песок, гравий или щебень. Для производства металлургических брикетов использовали первичную прокатную окалину, которая имеет другие характеристики по сравнению с компонентами для получения бетона. Например, геометрическую форму частиц (в основном пластинки), физико-химические свойства поверхности (смачиваемость) и гранулометрический состав. В частности при исследовании формирования холодной прочности брикета на цементной связке, важно установить зависимость прочности брикетов от влажности шихты, продолжительности выдержки сырых брикетов, а также роль подпрессовки шихты в пресс-форме.

При подготовке шихтовые материалы дозировали (по весу): окалины 90 %, цемента 10 %, смешивали в сухом виде, увлажняли и смешивали во влажном состоянии.

Брикеты изготавливали на лабораторном вибростоле в цилиндрической пресс-форме (высотой 52 мм и диаметром 36 мм). Перед загрузкой шихты форму смазывали солидолом, для предотвращения взаимодействия цементной связки со стенками пресс-формы. Уплотнение смеси производилось воздействием вибрации с частотой 50 Гц и амплитудой колебания 0,35 мм, а также серия экспериментов с одновременным воздействием нагрузки сверху (0,027 МПа) при аналогичных условиях.

После вибростола брикеты находились в пресс-форме в течение 1 суток. Далее брикеты вынимали из формы, после чего они набирали прочность в обычных условиях (t = 2° С и P = 760 мм.рт.ст.) на протяжении 28 суток.

На рис. 1 представлена концептуальна схема проведення дослідження по визначенню холодної міцності брикетів на цементній зв'язці.

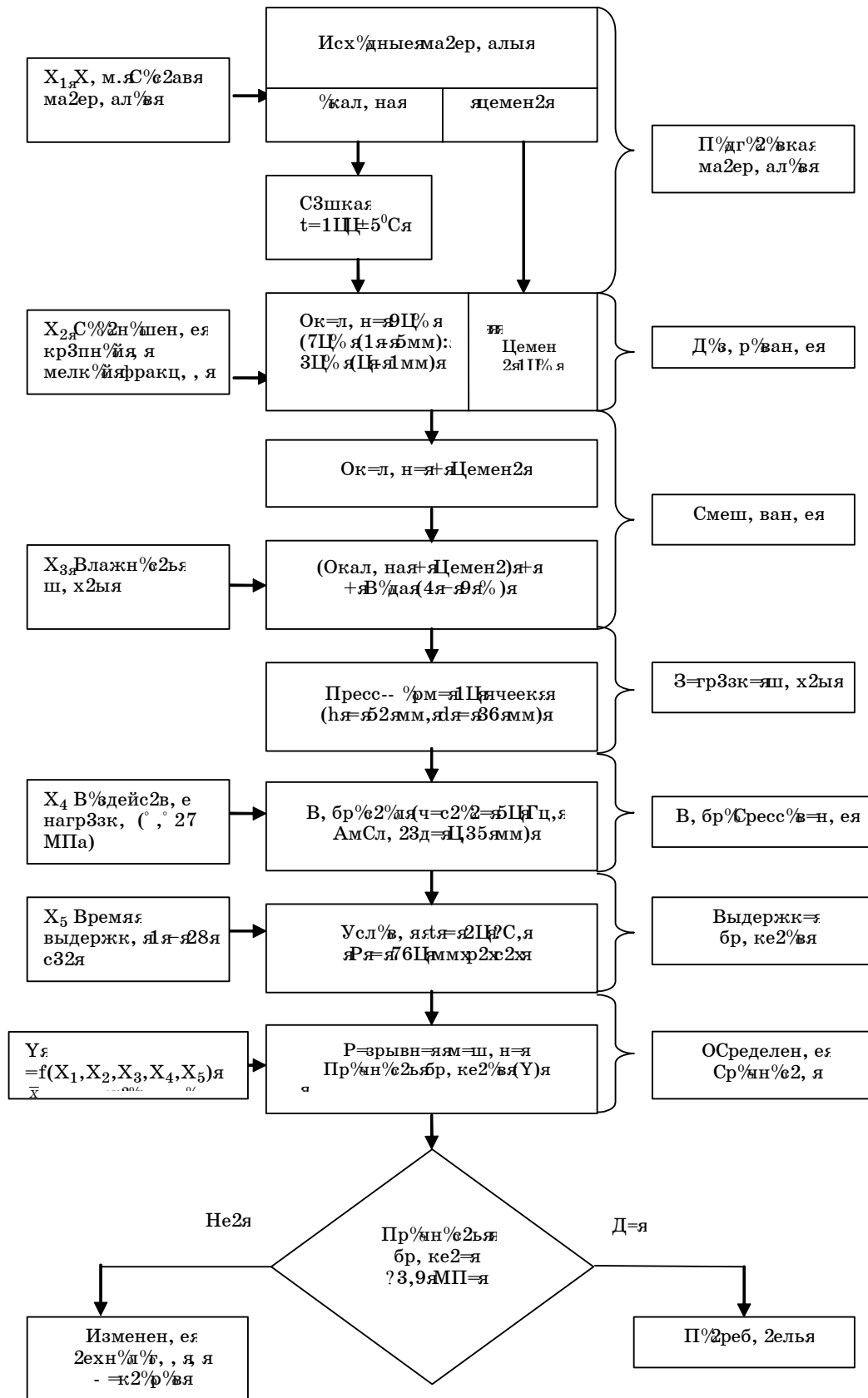


Рисунок 1 – Концептуальна схема проведення дослідження

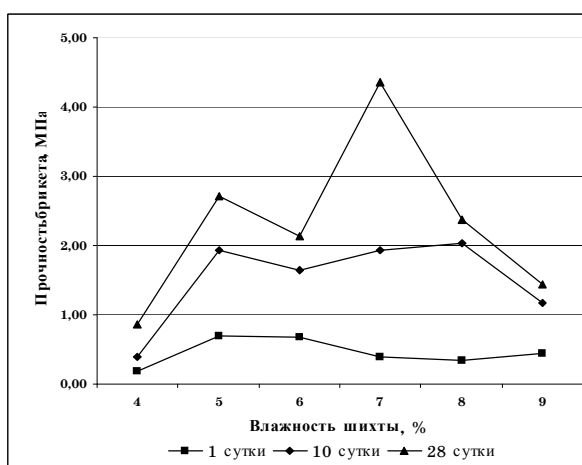
**Результаты исследования.** В таблице 2 приведены экспериментальные данные по прочности брикетов полученных из шихт с различным содержанием влаги.

Таблица 2

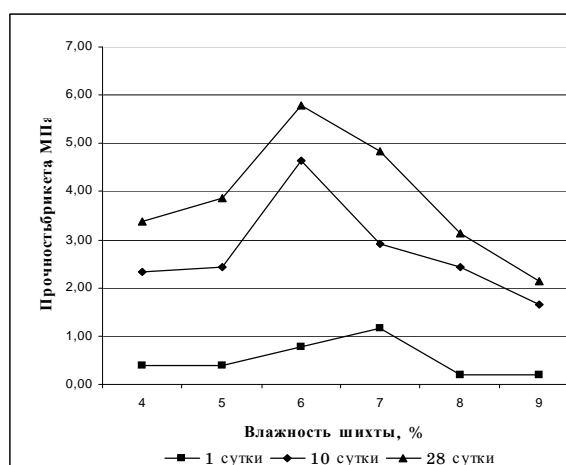
Экспериментальные данные по прочности брикетов

Влаж- ность, %	Прочность, МПа											
	Без нагрузки						С нагрузкой					
	4	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9
Время Выдерж- ки, сут												
1	0,19	0,70	0,68	0,39	0,34	0,44	0,39	0,39	0,78	1,15	0,19	0,19
2	0,29	1,44	1,06	0,97	1,65	1,36	0,87	0,97	1,74	1,61	0,48	0,29
3	0,29	1,62	1,45	1,02	1,93	1,45	1,21	1,74	2,13	1,67	1,74	0,48
5	0,19	1,50	1,65	1,45	2,03	1,26	1,93	1,65	2,95	1,93	1,84	0,58
7	0,29	1,50	1,74	1,79	2,32	1,12	2,03	2,13	3,87	2,42	1,93	1,55
10	0,39	1,93	1,65	1,93	2,03	1,16	2,32	2,42	4,65	2,91	2,42	1,65
15	0,39	2,52	1,84	2,42	2,42	1,21	2,42	2,91	4,79	3,39	2,91	1,74
20	0,48	2,42	2,42	2,13	2,37	1,26	2,91	3,15	4,84	3,87	3,00	1,81
28	0,87	2,71	2,13	4,36	2,37	1,43	3,39	3,87	5,78	4,84	3,15	2,13

На рис. 2 представлена зависимость прочности брикетов от влажности шихты на 1, 10 и 28 сутки. Порошок портландцемента, состоящий из мономинеральных, полиминеральных частиц и силикатов кальция, активно взаимодействует с водой сразу же при смешивании.



1)я



2)я

Рисунок 2 – Изменение прочности брикета в зависимости от влажности шихты: 1) – без нагрузки, 2) – с воздействием нагрузки сверху

В начальный период гидратации (до 1 ч) доля прореагировавшего цемента не превышает 1 %, поэтому особых изменений в физическом строении уплотненных материалов не происходит – оно состоит из частиц цемента и межзернового пространства, заполненного водным раствором и единичными кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . На частицах цемента образуются оболочки, придающие им хлопьевидную форму. Разрыв оболочек сопровождается образованием гидросиликатов, постепенно заполняющих пространство между зернами. Оболочки на частицах цемента утолщаются, и структура их дифференцируется: во внешней части оболочки растут мелкие игольчатые кристаллы, а в основной части оболочки продукты гидратации выделяются в микрокристаллическом состоянии. Межзерновое пространство постепенно заполняется частичками гидратов, между кристаллами которых возникают кристаллизационные и коагуляционные контакты. Определенная часть молекул воды адсорбируется на высокоразвитой поверхности образующихся кристаллогидратов. Эти процессы структурообразования в твердеющей связке приводят к потере подвижности формуемой смеси и приобретению прочности [9]. Протекание процесса гидратации сопровождается заметным уменьшением объема брикета, происходящим вследствие химического связывания части воды и уменьшения абсолютного объема твердеющей системы. Объем полученных брикетов за 28 суток уменьшился на 8 %.

Определенную роль в прочности брикета играет то, что гидратация цемента протекает благоприятно и достаточно полно лишь при некотором избытке воды по сравнению с тем количеством, 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 4 % смесь была практически сухой, и брикет ломался во время извлечения его из пресс-формы.

Большое количество влаги 9 % также отрицательно влияет на прочность брикетов. Избыточная вода, не вступающая в химическую реакцию с цементом, остается или испаряется, оставляя на своих местах воздушные поры [8].

Максимальная прочность лабораторных брикетов была достигнута с влажности шихты 7 % при воздействии на шихту только вибрации и составила 4,36 МПа. При аналогичных условиях с приложенной нагрузкой прочность брикета достигла 5,78 МПа, при влажности шихты 6 %.

Брикет с оптимальной влажностью представлен на рис. 3.



1

2

Рисунок 3 – Брикет с влажностью шихты 6 %:

1) – вид сверху; 2) вид с боку

Формование брикета производили по двум технологиям: вибропрессованием и вибропрессованием с одновременным воздействием на шихту дополнительной нагрузки.

Вибрация - это эффективное средство распределения, укладки и уплотнения смеси в пресс-форме. Основное достоинство вибропрессования состоит в том, что в процессе вибрирования резко понижается вязкость формовочной смеси. При воздействии нагрузки в аналогичных условиях получения брикетов, их прочность повысилась на 24,5 %. Нагрузка выдавливает излишек влаги в шихте. Вибропрессованием с одновременной подпрессовкой максимальная прочность достигается при меньшей влажности шихты (6 %). Одновременное воздействие вибрации и приложения нагрузки формирует более уплотненную структуру брикета. Высота брикета уменьшалась на 5 мм, а объем на 12.6 %. Приложение нагрузки снижает количество пустот в брикете, что положительно влияет на прочность брикета.

**Выводы.** Выполнено экспериментальное исследование влияние влажности шихты на прочность брикетов полученных с добавлением цемента методом вибропрессования. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что максимальная холодная прочность лабораторных брикетов достигается при влажности 6 % с приложением нагрузки и составила 5,78 МПа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Улучшение работы горна доменной печи / Л.Д. Никитин, С.Ф. Бугаев, Л.В. Портнов и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации. – Черная металлургия. – 2004. – № 6. – С. 25 – 30.
2. Курунов И.Ф., Большакова О.Г. Брикет для промывки горна доменной печи // Металлург. – 2007. – № 5. – С. 46 – 50.
3. Новая технология брикетирования металлургических отходов / В.А. Осипов, Л.В. Миронова, В.А. Гостенин и др. // Сталь. – 2005. – № 3. – С. 88 – 89.
4. Равич Б.М. Брикетирование в черной и цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1975. – 232 с.

5. Исследование металлургических свойств брикетов из техногенного и природного сырья и оценка эффективности их применения в доменной плавке / Курунов И.Ф., Щеглов Э.М., Кононов А.И., Большакова О.Г. и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации. – Черная металлургия. – 2007. – № 12. – С.39 – 48
6. Белкин А.С., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф. Использование железокочковых брикетов на цементной связке в доменной плавке // Металлург. – 2003. – № 4. – С. 39 – 41.
7. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
8. Райхель В., Конрад Д. Бетон. – М.: Стройиздат, 1979. – 113 с.
9. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 472 с.