

УДК 622.788

Ожогин В.В.¹, Кипчарская О.Н.², Акрамова Н.П.³

БРИКЕТИРОВАНИЕ КОЛОШНИКОВОЙ ПЫЛИ

В статье исследована возможность и выявлены оптимальные условия брикетирования колошниковой пыли с целью её использования в металлургическом производстве.

Ключевые слова: колошниковая пыль, связующее, брикетирование, механическая прочность

Ожогін В.В., Кипчарська О.Н., Акрамова Н.П. Брикетування колошникової пилу. У статті досліджена можливість і виявлено оптимальні умови брикетування колошникової пилу з метою його використання в металургійному виробництві.

Ключові слова: колошниковий пил, сполучне, брикетування, механічна міцність.

V.V. Ozhogin, O.N. Kipcharskaya, N.P. Akramova. Briquetting of blast-furnace top dust. The article deals with the description of optimal conditions of briquetting of top blast, with the aim of its subsequent application for blast furnace production.

Key words: blast furnace top dust, binding agent, mechanical strength.

Постановка проблемы. При производстве чугуна образуется значительное количество колошниковой пыли, выход которой составляет 39-50 кг/т чугуна [1]. В годовом измерении это составляет 180-220 тыс. т. по цеху. Близким к колошниковой пыли по химическому составу является доменный шлак, выход которого по объёму такой же, что и колошниковой пыли.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее распространённым способом её утилизации является использование при производстве агломерата. Но в целом такое использование не является эффективным. 70-80 %-ное содержание в ней плохо комкующейся фракции 1,6-0,065 мм приводит к ухудшению газопроницаемости окомкованной шихты и, в конечном счёте, к снижению технико-экономических показателей аглопроцесса. Однако основные проблемы, связанные с утилизацией колошниковой пыли, возникают там, где имеется недостаток агломерирующих мощностей или они вовсе отсутствуют, например, на металлургических предприятиях неполного цикла.

Удовлетворительные результаты даёт гранулирование колошниковой пыли по одному из известных способов [2], однако он требует значительных капиталовложений и не может быть применён на тех предприятиях, где отсутствует аглопроизводство.

За рубежом традиционным и достаточно эффективным способом окускования колошниковой пыли в таких условиях считают её брикетирование и использование в доменных печах [3]. В частности, в Германии одно из первых предприятий по её утилизации было введено ещё в начале 60-х годов XX века. Брикет из колошниковой пыли и других железосодержащих отходов формовали на вальцовых прессах. В качестве связующего использовали 50 %-ный сульфитный щёлок. Брикеты подвергали обжигу при температуре 600-900 °С в атмосфере CO:CO₂ = 3:1 [4].

В Украине такая проблема имеет место, в частности, на комбинате «Азовсталь», однако брикетирование колошниковой пыли пока ещё не применяется, если не считать введённой в 1996 г. опытно-промышленной установки для пыли доменных печей, действовавшей на Константиновском металлургическом заводе. Вальцовый пресс для неё производительностью 10 т/ч создан на НКМЗ, г. Краматорск.

Спад производства, вызванный экономическим кризисом, рост цен на энергетические ресурсы и усиление конкурентной борьбы на мировых рынках экспортёров металла может привести к повышению интереса к брикетированию как экологически чистому и энергетически менее затратному методу окускования отходов, экономящему первичное сырьё.

Цель статьи – выявление условий, при которых возможно эффективное брикетирование

¹ канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

² ассистент, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

³ ст. преподаватель, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

колошниковой пыли, удовлетворяющее требованиям, предъявляемых доменным производством к такому виду материалов.

Изложение основного материала. Исходным требованием к брикетированному материалу является заданный уровень механической прочности. Очевидно, прочность брикетов не должна быть меньше прочности шихтовых материалов, используемых в доменном производстве, в частности агломерата. Агломерат удовлетворительного качества имеет барабанную пробу $\sigma_{бар}$ на уровне 67 % [5]. Другим важным показателем для брикетов является прочность на раздавливание. По данным [4] прочность доменных брикетов на раздавливание σ_p должна составлять не менее 25 МПа. Эти величины приняты в качестве минимально допустимых при оценке механической прочности брикетов.

В процессе брикетирования большое значение имеет размер и состав материала. Крупные материалы и материалы с низкими адгезионными свойствами имеют неудовлетворительную брикетированность. Колошниковая пыль обладает пониженной брикетированностью, поскольку включает частицы размером 2,5 мм и менее, часть из которых (топливо, агломерат) обладает низкими адгезионными свойствами. Доменный шлак имеет более тонкий фракционный состав (менее 1,6 мм), пониженное количество топлива и большее количество частично обработанного агломерата, обладающего хорошими адгезионными свойствами, а потому лучше брикетирован.

Определяющее значение для прочности брикетов имеет связующее. Оно должно обладать не только высокими вяжущими свойствами, но и сохранять свою прочность при температурах до 1200-1250 °С, а также вносить минимальное количество вредных примесей.

Высокими вяжущими свойствами обладают органические связующие, однако они выгорают или пиролизуются при средних температурах, либо вносят значительное количество серы, а потому их ограничено используют в брикетировании. Лучшие характеристики имеют минеральные связующие, однако и они включают значительное количество балластных и вредных примесей, включая щёлочи, разрушающие кладку печи, и SiO_2 , на связывание и плавление которого необходим дополнительный расход извести и кокса, см. табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исходных материалов и связующих

Материал	Шифр	Содержание компонентов, %									
		Fe _{общ}	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	C _T	Na ₂ O
1. Колошниковая пыль	КП	45,33	53,72	9,96	8,97	0,86	10,60	1,16	0,38	10,76	0,29
2. Доменный шлак	ДШ	49,51	63,85	6,51	8,27	1,24	9,24	1,73	0,20	8,22	0,27
3. Синтетический шлак	СШ	2,0	-	2,6	14,7	19,2	53,4	1,30	1,13	-	н.св.
4. Глинозёмистый шлак	ГШ	40,3	-	57,5	3,0	13,0	8,0	0,45	-	-	2,2
5. Алюминиевый шлак	АШ	-	-	-	10,0	46,5	5,4	6,2	0,3	-	0,6
6. Глинозёмистый цемент	ГЦ	5,3	7,6	-	7,5	42,5	40,0	2,0	-	-	-
7. Портландцемент	ПЦ	1,8	2,6	-	32,0	11,0	49,0	6,5	-	-	0,5
8. Известь гашёная	ИГ	0,38	0,55	-	1,32	0,23	72,61	1,16	-	-	-
9. Жидкое стекло (зола)	ЖС	0,02	0,03	-	74,3	0,04	0,05	-	-	-	25,6

Приведенные в табл. 1 связующие по своим свойствам делятся на три группы.

К первой группе (строки 3-6) относятся связующие, в которых связи образуются за счёт образования алюмокальциевых соединений типа $mAl_2O_3 \cdot nCaO \cdot pH_2O$. Они обладают высокой прочностью даже при высоких температурах, а глинозём при определённых условиях способствует повышению текучести шлака. К недостаткам синтетического и алюминиевого шлаков относят их дефицитность, глинозёмистого цемента – дороговизна, а глинозёмистый шлак содержит много щелочей и мало глинозёма, причём в малоактивной форме.

Ко второй группе (строка 7) относятся связующие, в которых связи образуются за счёт силикатов кальция типа $SiO_2 \cdot CaO \cdot nH_2O$. Они обладают высокой прочностью, однако при 400-500 °С распадаются, а связующее разрушается. Кроме того, они содержат большое количество SiO_2 .

К третьей группе (строка 8) относится известь гашёная $Ca(OH)_2$, обладающая высокой связываемостью и флюсуемостью, а также дешёвизной и распространённостью. Основным её недостатком является то, что при нагреве выше 570 °С она разлагается и теряет прочность.

К четвертой группе (строка 9) относится жидкое стекло типа $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{Na}_2\text{O} \cdot p\text{H}_2\text{O}$, обладающее высокими вязкими свойствами, доступное и относительно недорогое. Упрочнение происходит за счёт образования прочных силикатов щелочей при удалении гидратной влаги при нагревании. Их прочность остаётся достаточно высокой и при высоких температурах нагрева. Основным её недостатком является наличие кремнезёма и щелочей, из которых оно и состоит. По этой причине жидкое стекло при брикетировании сырья используют редко.

Тем не менее, можно достичь определённых условий, при которых могут быть сохранены положительные свойства связующего этого типа. Так, следует использовать натриевое стекло, обладающее более низкой активностью по отношению к футеровке, по сравнению с калиевым, а также стекло с более высоким модулем, что уменьшает содержание щёлочи. Добавки жидкого стекла следует минимизировать до уровня, допустимого соответствующими требованиями к содержанию щёлочи. Недостаток прочности компенсируют использованием гашёной извести, которая к тому же флюсует SiO_2 стекла. Тем самым создаются условия, минимизирующие влияние щелочей, что даёт возможность использовать жидкое стекло. Другие недостатки можно также в значительной степени снизить использованием смесей различных связующих.

Для сценки возможностей промышленного производства брикетов из колошниковой пыли были выполнены лабораторные исследования условий их получения и определена прочность.

Брикетирование провели под давлением 50 МПа, развиваемым большинством современных вальцовых прессов. Брикеты цилиндрической формы имели следующие размеры: диаметр 30 мм, высота 20 мм, масса 32-45 г. Их сушили в естественных условиях при 20 °С и влажности воздуха 80 % в течение 7 сут. За это время брикет набирает более 70 % его максимальной прочности, а также при 250 °С в течение 0,5 ч, что обеспечивает независимость сушки от погодных условий. Готовые брикеты имели влажность 1,2-1,9 % и 0,5 % соответственно.

Прочность брикетов на сбрасывание определяли в барабане в соответствии с ГОСТ 15137-77, прочность на раздавливание – на испытательной машине EU-40.

Результаты испытаний для брикетов различной сушки представлены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что удовлетворительную прочность обнаруживают брикеты на связующем из синтетического шлака и жидкого стекла. При их 13-15 %-ной добавке прочность брикетов удовлетворяет заданному уровню. Несколько худшие результаты даёт гашёная известь. Но в связи с тем, что глинозёмистые связующие дороги и редки, а жидкое стекло вносит щёлочи, в качестве их заменителей использовали смеси жидкого стекла с гашёной известью.

С целью отыскания оптимального сочетания указанных компонентов при минимальном их расходе при получении брикетов заданной прочности использовали компьютерную программу TRIDIA, позволяющую производить определение вида уравнения зависимости прочности от компонентного состава, а также расчёт полей значений Y для различных x_1 , x_2 и x_3 [6]. Исходные данные и результаты расчёта представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Для барабанной прочности $\sigma_{бар}$, % брикетов, высушенных 7 сут при 20 °С, искомая зависимость имеет вид:

$$\sigma_{бар} = 0,1x_1 + 96,0x_2 + 50,4x_3 - 122,0x_1x_2 + 75,6x_1x_3 + 4,8x_2x_3 + 810,4x_1x_2x_3 - 175,8x_1x_2(x_1 - x_2) + 119,2x_1x_3(x_1 - x_3) + 12,0x_2x_3(x_2 - x_3) . \quad (1)$$

То же, для прочности на раздавливание σ_p , МПа брикетов, высушенных 7 сут при 20 °С:

$$\sigma_p = 4,2x_1 + 25,5x_2 + 19,1x_3 - 12,6x_1x_2 + 27,4x_1x_3 + 8,0x_2x_3 + 113,6x_1x_2x_3 - 30,0x_1x_2(x_1 - x_2) + 9,4x_1x_3(x_1 - x_3) - 27,2x_2x_3(x_2 - x_3) . \quad (2)$$

То же, для барабанной прочности $\sigma_{бар}$, % брикетов, высушенных 0,5 ч при 250 °С:

$$\sigma_{бар} = 0,8x_1 + 97,1x_2 + 73,0x_3 - 80,4x_1x_2 - 93,6x_1x_3 - 164,6x_2x_3 - 801,5x_1x_2x_3 - 311,4x_1x_2(x_1 - x_2) + 18,4x_1x_3(x_1 - x_3) + 125,8x_2x_3(x_2 - x_3) . \quad (3)$$

То же, для прочности на раздавливание σ_p , МПа брикетов, высушенных 0,5 ч при 250 °С:

$$\sigma_p = 4,5x_1 + 32,6x_2 + 18,4x_3 - 23,6x_1x_2 + 22,2x_1x_3 - 7,2x_2x_3 + 67,8x_1x_2x_3 - 35,4x_1x_2(x_1 - x_2) - 26,2x_1x_3(x_1 - x_3) + 10,0x_2x_3(x_2 - x_3) . \quad (4)$$

Решение уравнений (3) и (4) представлено в виде тройной диаграммы на рис. 2.

Наложением диаграмм 1 и 2 рис. 1 определяем общую область, отвечающую заданным условиям прочности $\sigma_{бар} \geq 67$ % и $\sigma_p \geq 25$ МПа.

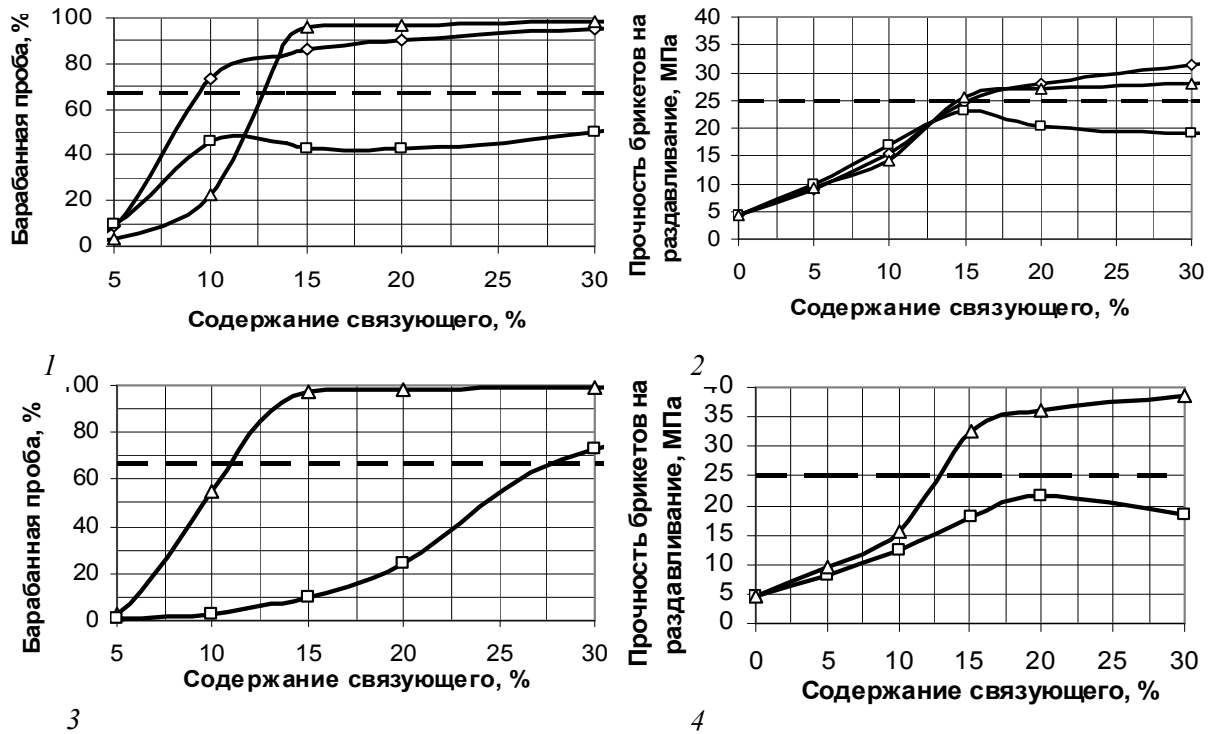


Рис. 1 – Зависимость прочности брикетов от вида и количества связующего
 1, 2 – прочность брикетов, высушенных 7 сут при 20 °С (а); 3, 4 – то же, 0,5 ч при 250 °С;
 —◇— — связующее – шлак синтетический; —□— — то же, известь гашёная;
 то же, —△— — то же, жидкое стекло; — — — — уровень минимально допустимой прочности

Таблица 2

Исходные данные для построения кубической модели трёхкомпонентной системы «колошниковая пыль – жидкое стекло – гашёная известь»

№ опыта	Вещественный состав	Состав смеси, д.ед.			Функция Y_i	Условия сушки			
		x_1	x_2	x_3		7 сут при 20 °С		0,5 ч при 250 °С	
						$\sigma_{бар}, \%$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$\sigma_{бар}, \%$	$\sigma_p, \text{МПа}$
1	100КП	1	0	0	Y_1	0	4,2	0,8	4,5
2	85КП 15ЖС	0	1	0	Y_2	96,0	25,5	97,1	32,6
3	70КП 30ИГ	0	0	1	Y_3	50,4	19,1	73,0	18,4
4	90КП 10ЖС	1/3	2/3	0	Y_{122}	32,2	14,2	54,8	15,6
5	95КП 5ЖС	2/3	1/3	0	Y_{112}	2,9	9,2	2,9	9,7
6	80КП 20ИГ	1/3	0	2/3	Y_{133}	42,6	20,2	24,0	21,5
7	90КП 10ИГ	2/3	0	1/3	Y_{113}	45,7	16,8	3,0	12,5
8	75КП 5ЖС 20ИГ	0	1/3	2/3	Y_{233}	65,8	25,5	29,4	20,5
9	80КП 10ЖС 10ИГ	0	2/3	1/3	Y_{223}	83,0	23,1	58,4	26,9
10	85КП 5ЖС 10ИГ	1/3	1/3	1/3	Y_{123}	68,8	21,2	42,7	18,0

Отсюда следует, что смесь, обеспечивающая заданные условия прочности при максимальном расходе колошниковой пыли и минимальном – жидкого стекла, для брикетов, высушенных за 0,5 сут при 250 °С, имеет следующий состав: колошниковая пыль 82,5 %, гашёная известь 4,0 %, жидкое стекло 9,5 %. Прочность таких брикетов составит: $\sigma_{бар} = 70,0 \%$ и $\sigma_p = 25,0 \text{ МПа}$. Для брикетов, высушенных за 7 сут при 20 °С эти же значения составляют 80,5 %, 15,0 %, 4,5 % соответственно при $\sigma_{бар} = 75,3 \%$ и $\sigma_p = 25,1 \text{ МПа}$.

Сопоставление расчётных значений прочности с экспериментальными данными для найденных составов даёт превышение последних на уровне менее 1,0 %, что вполне допустимо.

Исходя из опытных исследований, промышленный процесс получения брикетов из предложенных материалов может быть осуществлён следующим образом.

Увлажнённую колошниковую пыль выдерживают до завершения реакций гидратации со-

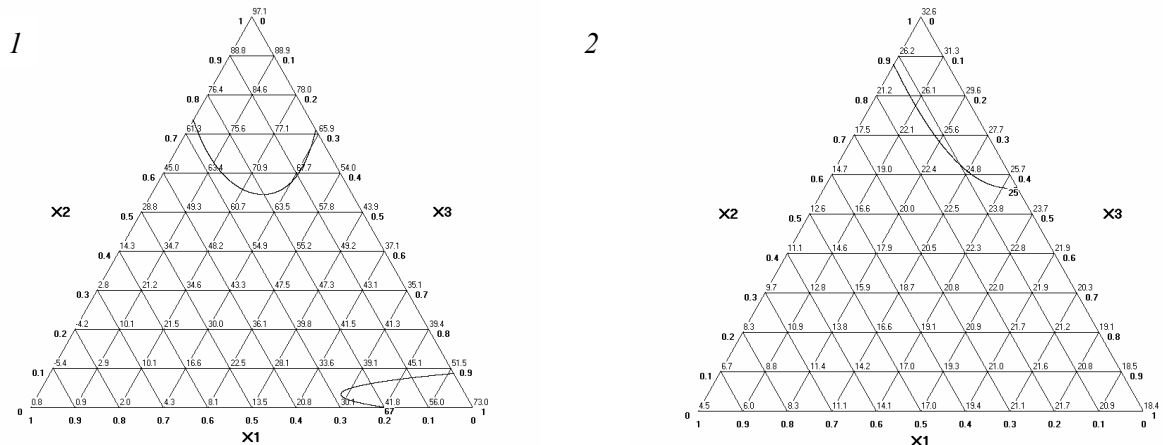


Рис. 2 – Диаграммы механической прочности брикетов высушенных 0,5 ч при 250 °С
 1 – для прочности на сбрасывание $\sigma_{бар}$, %; 2 – то же, прочности на раздавливание σ_p , МПа

держаться в ней извести. Выбранные компоненты подвергают рассеву для удаления включений более 10 мм, которые могут привести к поломке пресса. При необходимости осуществляют доизмельчение, что повышает прочность брикетов.

После отсева компоненты смешивают, подавая в смеситель необходимое количество воды, и прессуют под давлением 50 МПа. Влажность брикетируемой смеси зависит от фракционного состава материала, вида и количества связующего, давления прессования и составляет 8-10 %.

Полученные брикеты сушат в печи в течение 0,5 ч при 250-350 °С до влажности 1,5-2,0 % чем обеспечивают независимость производства от погодных условий, либо выдерживают в течение 7-15 сут при 10-30 °С и влажности воздуха 80-95 %, что даёт экономию топлива.

Расчётная экономия от вовлечения колошниковой пыли в виде доменных брикетов вместо аглодобавок составляет 58,2 грн/т. Срок окупаемости установки – 2,5 года.

Выводы

1. Установлено, что при определённых условиях возможно получение прочных брикетов из колошниковой пыли. К этим условиям относится давление прессования 50 МПа, размер брикетов 30 мм, а также использование смеси связующих в виде гашёной извести и жидкого стекла.
2. Дальнейшие исследования следует вести в направлении поиска иных связующих, совершенствования способов сушки брикетов, обеспечивающих утилизацию вторичного тепла, а также адаптацию полученных данных к условиям промышленного производства.

Список использованных источников:

1. Вторичные материальные ресурсы чёрной металлургии: Справочник. В 2-х т. Т. 2: Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд (Образование и использование) / В.Г. Барышников, А.М. Горелов, Г.И. Папков и др. – М.: Экономика, 1986. – 344 с.
2. Ожогин В.В. Способы получения гранул и влияние их добавок на процессы спекания и механические свойства агломерата / Металлург. процессы и оборуд. – 2006. – № 3. – С. 19-24.
3. Савицкая Л.И. Использование железосодержащих отходов при окусковании руд: Обзорная информация. Серия «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна». – М.: Ин-т «Черметинформация», 1984. – Вып. 5. – 27 с.
4. Лурье Л.А. Брикетирование в чёрной и цветной металлургии / Л.А. Лурье. – М.: Металлургиздат, 1963. – 324 с.
5. Доменное производство: Справочное издание. В 2-х т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
6. Арабаджи В.В. Программа построения тройных диаграмм систем «Состав – свойство» на компьютере / В.В. Арабаджи, А.А. Томаш // Международ. науч.-тех. конф. «Университетская наука-2009»: Тез. докл. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – Т. I. – С. 24-25.

Рецензент: Н.Ю. Назюта
 д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 20.01.2010