

В.А.Носков, Д.Н.Тогобицкая, Б.Н.Маймур, В.Ф.Мороз, В.И.Петренко

БРИКЕТИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ОТХОДОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Выполнен анализ использования отходов металлургического производства для получения брикетов сложного состава. Установлены связи прочностных свойств сырых и упрочненных брикетов с содержанием в шихте влаги, связки и крупностью частиц, химическим составом шихты.

Современное состояние вопроса.

Проблема утилизации техногенных отходов приобретает все большую актуальность в ряде отраслей промышленности Украины, прежде всего, в горнодобывающей, металлургической, угольной и машиностроительной. Возвращение в производство отходов решает не только задачи ресурсосбережения, но и улучшает экологическую обстановку на предприятиях и прилегающих территориях. В последние годы в связи с постоянно увеличивающимся количеством мелкофракционных промышленных отходов интерес к их подготовке и использованию у многих предприятий существенно возрос. К таким предприятиям, прежде всего, относятся КГГМК «Криворожсталь», ОАО «МК «Азовсталь»», ОАО «Никопольский завод ферросплавов», Донецкий металлургический завод, огнеупорные заводы и др.

Содержание в промышленных отходах полезных компонентов, иногда даже превышающих содержание их в существующих или вновь разрабатываемых месторождениях, свидетельствует об их сырьевой ценности и целесообразности использования в технологических переделах. Следует отметить, что отходы без предварительного окускования мелкофракционного сырья не могут быть использованы в технологических переделах.

Среди технологий, применяющихся для возвращения отходов в технологический передел, особое место занимает холодное брикетирование со связкой, поскольку процесс окускования мелкофракционных отходов этим методом не предъявляет жестких требований по крупности и составу материалов, является менее энергозатратным, следовательно, более экономичным. Кроме того, возможность введения в брикетируемую шихту различных полезных при последующей переработке брикетов добавок позволяет целенаправленно управлять образованием конечного продукта, формируя таким образом его оптимальный химический состав и свойства.

В Институте черной металлургии (ИЧМ) НАНУ накоплен значительный опыт по окускованию мелкофракционных материалов брикетированием, позволяющим производить в непрерывном режиме окускованное сырье в виде брикетов одинаковых размеров, форм и массы. Научные и методологические основы этих разработок, их аппаратное обеспечение

были заложены в ходе работ по горячему брикетированию тонкодисперсных частично восстановленных железорудных концентратов, проводившихся под руководством З.И.Некрасова [1]. В связи с резким подорожанием и дефицитом энергоресурсов разрабатываемые в настоящее время специалистами ИЧМ технологии получения брикетов базируются на холодном прессовании материалов со связующими добавками. Разработаны технологии получения брикетов из аглодоманных и сталеплавильных шламов, колошниковой пыли, коксовой мелочи, прокатной окалины, отсевов ферросплавов и др.

Задачи исследования.

Анализ результатов использования указанных брикетов в производственных условиях и перспектив развития данного направления указывают на необходимость решения новой важной задачи – разработки многокомпонентного сырья, окускованного методом брикетирования и обладающего комплексом потребительских свойств, улучшающих ход технологических процессов их переработки. Производство многокомпонентных брикетов будет способствовать вовлечению более широкого круга техногенных отходов в технологический передел и способствовать их комплексной переработке и утилизации.

В качестве примера можно привести следующие перспективные брикеты комплексного состава и область их применения:

- брикет, как частичный заменитель доменной шихты, состоящий из доменного шлама, колошниковой пыли, коксовой мелочи и известковой пыли;

- брикет для раскисления и легирования чугуна и стали кремнием, содержащий карбид кремния, дробленый скрап от переработки ферросилиция и органическое связующее;

- брикет с раскисляющими и легирующими добавками, содержащий Mn, Si, Al, связующее и др.;

- брикет для раскисления стали кремнием, содержащий отработанную контактную массу (ОКМ) – отход химического производства, дробленый скрап – отход переработки ферросилиция и связующее;

- брикет для конвертерной плавки, состоящей из доломита мелкофракционного, красного шлама, сталеплавильного шлама и связующего;

- брикет для производства чугуна и стали, содержащий окалину, электродный бой и оксид алюминия.

Успешное использование таких многокомпонентных брикетов в технологических переделах настоятельно требует проведения обширных экспериментальных и теоретических исследований механизма их получения и технологических особенностей применения.

Из имеющегося многообразия отходов, образующихся в металлургическом и машиностроительном комплексах Украины, для первоочередного использования должны быть выбраны наиболее ценные и наиболее подготовленные к переработке.

Изложение основных материалов исследования.

Наиболее важными показателями, определяющими выбор отходов для разработки составов комплексных брикетов, представляются следующие.

1. Содержание основного (определяющего) химического элемента.

Для отходов аглодоменного, сталеплавильного и прокатного производств таким элементом является железо, для отходов ферросплавного производства – марганец. Для образующихся в этих производствах отходов восстановителей определяющим является количество углерода, отходов флюсов – количество кальция и магния в виде оксидов и карбонатов.

В основном отходе машиностроительного производства – стружке – содержание основных элементов практически то же, что и обрабатываемых металлах и сплавах.

2. Содержание вредных веществ. Наличие в отходах повышенного содержания серы, фосфора, цинка, щелочных элементов является фактором, затрудняющим их повторное использование, прежде всего, в доменном производстве. Требование к предельному содержанию того или иного из перечисленных элементов в изготовленном из отходов сырье зависят от способа его последующего передела.

3. Крупность частиц. Максимальный размер частиц и их распределение по крупности является важным фактором уплотнения и формирования структуры прессовки при брикетировании мелкофракционных шихт. Исходя из наиболее распространенных размеров окускованного сырья, негативного влияния на прочность брикетов крупных включений наиболее целесообразным следует признать брикетирование отходов фракции 0–6 мм.

4. Влажность материала. Правильный выбор влажности прессуемой шихты во многом определяет процесс формирования брикетов. Влаги должно быть достаточно для обеспечения «пластичности» прессуемого материала, в то же время нельзя допускать ухудшения его сыпучести и выжимания влаги под давлением.

Опыт получения брикетов из различных видов металлургических отходов показывает, что влажность шихты, как правило, должна находиться в пределах 4–12 %. При составлении многокомпонентных смесей отходов недостаточная влажность легко может быть скомпенсирована добавкой воды, в то же время избыточная влажность одного или нескольких компонентов может затруднить условия подготовки и брикетирования смеси. Поэтому предпочтение следует отдавать относительно сухим отходам или таким, избыточная влага из которых может быть легко (желательно без термической сушки) удалена до смешивания компонентов или уменьшена до необходимых значений при смешивании с сухими компонентами.

5. Количество отходов. При соблюдении вышеперечисленных условий количество отходов должно быть таким, чтобы обеспечивалась экономическая целесообразность их переработки и производства брикетов на конкретных предприятиях.

Целесообразный объем переработки определяется металлургической ценностью отходов и востребованностью окускованного материала.

Процесс окускования методом брикетирования многокомпонентной смеси рассматривается как совместный процесс уплотнения в формующих элементах пресса каждого из компонентов смеси, суммарный результат определяется особенностями физико–механических свойств каждого из компонентов и их влиянием друг на друга. В известной нам литературе сведений такого рода нет, поэтому получение таких сведений необходимо для формирования исходных данных для расчета параметров и режимов процесса окускования (брикетирования) многокомпонентных смесей по разработанным ранее в ИЧМ методикам.

Поэтому значительный интерес представляет разработка методики расчета свойств брикетов и режимов их получения с учетом изменяющегося соотношения компонентов смеси, включая связку. Следует отметить, что потребительские свойства многокомпонентных брикетов (полибрикетов), прежде всего прочностные свойства, зависят как от свойств каждого компонента, так и от правильного выбора связующих добавок. Поэтому в настоящее время уделено особое внимание вопросам разработки недорогих, недефицитных и не содержащих вредных примесей связующих добавок на основе отходов различных производств.

В настоящей работе изучена связь интегральных параметров межатомного взаимодействия с прочностью брикетов, полученных из железосодержащих отходов (ЖСО) металлургического производства на связке из извести. В качестве ЖСО использованы – аглодоменный и сталеплавильный шлак, вторичная окалина МК «Азовсталь», шлак сталеплавильного производства КГМК «Криворожсталь», колошниковая пыль и шламы завода им.Петровского. В качестве связки использованы известковая пыль КГМК «Криворожсталь», МК «Азовсталь» и известь Полтавского ГОКА.

Брикеты в виде прессовок диаметром 30 мм и высотой 17,5–18,0 мм получали в цилиндрической прессформе на лабораторной установке, собранной на базе испытательной машины ЦД–10 и описанной ранее [2]. Оценку прочностных свойств сырых и упрочненных прессовок производили по величине прочности на сжатие ($\sigma_{сж.}$) при приложении разрушающего усилия к торцевой поверхности образцов.

Состав шихты, условия получения и свойства брикетов приведены в табл.1. После приведения состава исходной железосодержащей шихты к 100 %, и расчета ее элементного состава были рассчитаны параметры межатомного взаимодействия d , Z^Y (табл.2), где d – среднее межатомное расстояние между атомами, а Z^Y – химический эквивалент состава, методика расчета которых описана в работе [3].

В результате анализа установлены корреляционные связи $\sigma_{сж.20}$ и $\sigma_{сж.упр}$ от параметров межатомного взаимодействия в виде уравнений:

$$\sigma_{сж.20} = -493,33 - 37,91d + 480,13Z^Y \quad (r=0,93) \quad (1)$$

$$\sigma_{сж.упр} = -1611,47 - 257,94d + 1670,78Z^Y + 2,81[C_{св.}] \quad (r=0,76) \quad (2)$$

Таблица 1. Зависимость свойств брикетов в зависимости от состава шихты и ее влажности, количества связки, условий прессования и упрочнения.

Состав шихты [*]	№ шихты	$C_{св.}$, масс.%	$\rho_{пр.}$, г/см	P , МПа	W , масс.%	t , °С	$\sigma_{сж.20}$, кг/см ²	$\sigma_{сж.упр.}$, кг/см ²
ШАД(73)+КСК(18)+ОВ(9)	3	20		100	8,6	115		247
ШАД	2	20			7,6	200	121	248
ШСТ	5	50		100	11,2	120		185
ШАД	1	15	2,4	100	5,5	250	80	240
ШАД(73)+ШОС(18)+ОВ(9)	4	10	2,6	50	6,8	115	92	144
ШСТ	5	50	1,98	50	11,3	120	73	226
ШСТ	5	35	2,12	50	17	120	38	111
ШСТ	5	25	2,24	50	14,1	120	76	121
ШСТ	5	25	2,19	50	11,3	120	8	194
ШД	6	20	2,3	50	2,3	150	48	129
КП	8	15	2,04	50	6,2	150	62	127
ШСТ	5	50	1,9	50	11,2	120	8	

^{*}) – ШАД – шлам аглодоменный МК «Азовсталь»; ШК – шлам конвертерный МК «Азовсталь»; ОВ – окалина вторичная МК «Азовсталь»; ШСТ – шлам сталеплавильный КГМК «Криворожсталь»; ШД – шлам доменный з-да им.Петровского; КП – колошниковая пыль з-да им.Петровского

Таблица 2. Интегральные параметры межзатомного взаимодействия железосодержащих отходов.

№ шихты	$tg\alpha$	$d \cdot 10^{-1}$, нм	Z^Y , е
3	0,1232	2,1070	1,3838
2	0,1232	2,0461	1,3873
1	0,1232	2,0461	1,3873
4	0,1232	2,1070	1,3868
6	0,1252	1,9240	1,3295
8	0,1267	1,7146	1,2697
5	0,1252	2,2455	1,348

Следует отметить, что связи в уравнениях (1) и (2) между d и Z^Y с $\sigma_{сж.}$ установлены для интегральных параметров, рассчитанных только для ЖС части и не учтено влияние связки, в данном случае извести различного состава. Дополнительный учет интегральных параметров межзатомного взаимодействия связки является резервом повышения вышеприведенных моделей.

Сопоставительное сравнение экспериментальных ($\sigma_{сж.эксп.}$) и рассчитанных по уравнению (2) ($\sigma_{сж.расч.}$) значений прочности на раздавливание представлено на рис.1.

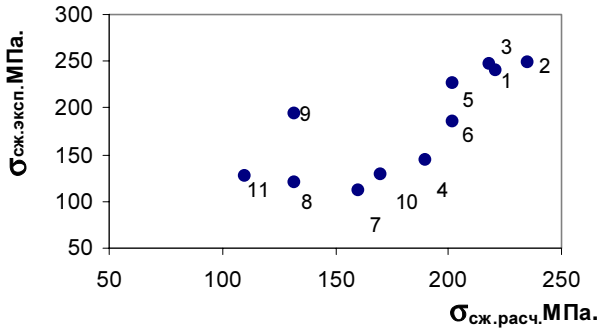


Рис.1. Сопоставительное сравнение $\sigma_{сж.эксп.}$ и $\sigma_{сж.расч.}$ упрочненных брикетов, изготовленных из железосодержащих отходов металлургического производства на связке из извести.

На представительном массиве экспериментальных данных для брикетов из отсевов ферромарганца одного состава на различных связках (известь, цемент и жидкое стекло) определена связь плотности и прочности исходных и упрочненных брикетов от среднего размера частиц ($d_{част.}$), концентрации связки ($C_{св.}$, %), влажности шихты (W , %), давления прессования (P , Мпа) и длительности выдержки (τ , сутки) (табл.3–5).

Таблица 3. Изменение свойств брикетов из отсевов ферромарганца на связке из извести в зависимости от ее количества, влажности и параметров брикетирования и упрочнения ($P=100$ Мпа).

$d_{ср.}$, мм	$C_{св.}$, %	W , %	ρ , г/см ³	$\sigma_{сж.}$, кг/обр.	$t_{упр.}$, °С	$\tau_{выд.}$, сут.	$\rho_{упр.}$, г/см ³	$\sigma_{сжупр.}$, кг/обр.
2,081	10	5,8	3,95	260	150	0,05	3,7	770
2,081	10	5,8	3,95	260		1		535
2,081	10	5,8	3,95	260		3		790
2,081	10	5,8	3,95	260		7		945
2,081	15	7	3,57	350	150	0,05	3,4	900
2,081	15	7	3,57	350		1		815
2,081	15	7	3,57	350		5		1130
2,081	10	5,8	3,99	225	150	0,05	3,75	870
2,081	10	5,8	3,99	225		1		600
2,081	10	5,8	3,99	225		3		920
2,081	10	5,8	3,99	225		7		960
2,319	10	4,2	3,9	240	150	0,05	3,74	580
2,319	10	4,2	3,9	240		1		480
2,319	10	4,2	3,9	240		3		760
2,319	10	4,2	3,9	240		7		900
2,319	15	4,76	3,85	340	150	0,05	3,67	710

2,319	15	4,76	3,85	340		1		800
2,319	15	4,76	3,85	340		3		790
2,319	15	4,76	3,85	340		7		1070
2,01	10	5	2,56	200	150	0,05	2,43	200
2,01	10	5	2,56	200		1		200
2,01	10	5	2,56	200		3		230
2,01	10	5	2,56	200		5		530
2,01	15	4,6	2,55	245	150	0,05	2,43	480
2,01	15	4,6	2,55	245		1		310
2,01	15	4,6	2,55	245		3		490
2,01	15	4,6	2,55	245		5		850

Таблица 4. Изменение свойств брикетов из отсевов ферромарганца на связке из цемента в зависимости от его количества, влажности, условий брикетирования и упрочнения брикетов ($P=100$ МПа).

$C_{св}, \%$	$W, \%$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\sigma_{сж}$	$\tau_{выд.}, \text{сут.}$	$\rho_{упр.}, \text{г/см}^3$	$\sigma_{упр.}, \text{кг/обр.}$
8	4		140	1		250
8	4		140	3		510
10	4,5	4,35	140	1	4,13	423
10	4,5	4,35	140	3		1020
10	4,5	4,35	140	7		1300
8	4	4,2	140	1	4,03	300
8	4	4,2	140	3		600
8	4	4,2	140	7		1190
10	4,5	4,4	120	1	4,2	340
10	4,5	4,4	120	3		840
10	4,5	4,4	120	7		1200
8	4	2,66	75	1	2,55	210
8	4	2,66	75	3		290
8	4	2,66	75	5		585
10	4	2,67	75	1	2,56	260
10	4	2,67	75	3		315
10	4	2,67	75	5		650

Таблица 5. Изменение свойств брикетов из отсевов ферро-марганца на связке из жидкого стекла в зависимости от его количества, влажности, параметров брикетирования и упрочнения.

$C_{св}, \%$	$W, \%$	$P, \text{МПа}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\sigma_{сж}, \text{кг/обр.}$	$t_{упр.}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{выд.}, \text{сут.}$	$\rho_{упр.}, \text{кг/обр.}$	$\sigma_{упр.}, \text{кг/обр.}$
3	2	100	4,26	285	150	0,05	4,17	500
3	2	100	4,26	285		1		530
3	2	100	4,26	285		5		540

4	2,5	50	4,49	200	200	0,05	4,38	890
4	2,5	50	4,49	200		1		450
4	2,5	50	4,49	200		5		740
4	2,5	100	4,55	380	200	0,05	4,44	1270
4	2,5	100	4,55	380		2		970
4	2,5	100	4,55	380		4		1170
4	2,5	50	4,16	160	200	0,05	4,06	1170
4	2,5	50	4,16	160		1		500
4	2,5	50	4,16	160		3		675
4	2,5	100	4,35	375	200	0,05	4,24	1540
4	2,5	100	4,35	375		1		765
4	2,5	100	4,35	375		3		1080
4	2	50	2,39	115	200	0,05	2,34	480
4	2	50	2,39	115		1		270
4	2	50	2,39	115		3		340
4	2	100	2,51	210	200	0,05	2,34	880
4	2	100	2,51	210		1		450
4	2	100	2,51	210		3		560

Для исследованных прессовок на связке из извести эти зависимости представлены в виде следующих регрессионных уравнений:

$$\sigma_{\text{исх.}} = -635,99 + 257,01d_{\text{част.}} + 13,55[C_{\text{св.}}] + 35,79W \quad (r=0,98) \quad (3)$$

$$\rho_{\text{исх.}} = -7,38 + 4,46d_{\text{част.}} - 0,09[C_{\text{св.}}] + 0,46W \quad (r=0,91) \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{упр.}} = -3194,94 + 1164,48d_{\text{част.}} + 17,09[C_{\text{св.}}] + 202,99W + 52,49\tau \quad (r=0,87) \quad (5)$$

$$\rho_{\text{упр.}} = -7,17 + 4,31d_{\text{част.}} - 0,08[C_{\text{св.}}] + 0,43W \quad (r=0,92) \quad (6)$$

Для прессовок на цементной связке в виде уравнений (7–10):

$$\sigma_{\text{исх.}} = -229,8 + 72,52d_{\text{част.}} - 17,07[C_{\text{св.}}] + 18,44W \quad (r=0,70) \quad (7)$$

$$\rho_{\text{исх.}} = -11,22 + 3,21d_{\text{част.}} - 0,13[C_{\text{св.}}] + 2,19W \quad (r=0,94) \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{упр.}} = -2765,36 + 287,11d_{\text{част.}} - 22,59[C_{\text{св.}}] + 607,55W + 130,76\tau \quad (r=0,95) \quad (9)$$

$$\rho_{\text{упр.}} = -10,56 + 3,12d_{\text{част.}} - 0,12[C_{\text{св.}}] + 2,03W \quad (r=0,94) \quad (10)$$

Для связки из жидкого стекла ($\rho=1,3$) в виде уравнений (11–13):

$$\sigma_{\text{исх.}} = -239,14 - 94,54d_{\text{част.}} - 47,54[C_{\text{св.}}] + 268,42W + 3,27P \quad (r=0,99) \quad (11)$$

$$\rho_{\text{исх.}} = 3,22 - 1,11d_{\text{част.}} - 1,83[C_{\text{св.}}] + 4,30W + 0,0025P \quad (r=0,99) \quad (12)$$

$$\sigma_{\text{упр.}} = -2417,71 + 78,63d_{\text{част.}} + 133,74[C_{\text{св.}}] + 868,07W - 31,93\tau \quad (r=0,82) \quad (13)$$

Учет интегральных параметров, являющихся сверткой химического состава связки, определяющих ее вяжущие свойства позволит, по-видимому, описать выше приведенные зависимости (уравнения (3)–(13)) одним общим уравнением.

Выводы.

Полученные результаты показывают, что прочностные и другие свойства брикетов определяются многими факторами, в числе которых давление прессования, химический состав брикетируемой шихты, содержание связки и влаги, крупность частиц и др.

Установленные в работе зависимости могут быть использованы для прогнозной оценки связи свойств брикетов с составом шихты, условиями прессования и упрочнения, а также результатов их реализации в металлургических переделах.

1. *Носков В.А., Маймур Б.Н.* Научные разработки ИЧМ в области брикетирования мелкофракционных шихтовых материалов. //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.труд. – Вып.8. – 2004. –С.363–369.
2. Исследование физико–механических свойств мелкофракционных промышленных отходов, определяющих их поведение при брикетировании. / В.А.Носков, Б.Н.Маймур, В.И.Петренко, А.Т.Лебедь //Металлургическая и горнорудная промышленность. –1998. №4.–С.104–107.
3. *Приходько Э.В.* Методики определения параметров направленного меж-атомного взаимодействия в молекулярных и кристаллических соединениях. //Металлофизика и новейшие технологии. –1995. – Т.17. –№11. –С.54–62.

*Статья рекомендована к печати чл.–корр. НАН Украины
В.И.Большаковым*