

УДК 622.7:669.054.8.002.3

В.А.Носков, Д.Н.Тогобицкая, Б.Н.Маймур, В.Ф.Мороз, В.И.Петренко**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШИХТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БРИКЕТИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС УПЛОТНЕНИЯ И СВОЙСТВА БРИКЕТОВ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Экспериментально изучены закономерности прессования ряда сложных шихт, составленных из металлургических отходов. С применением метода физико-химического моделирования рассчитаны их интегральные параметры межатомного взаимодействия, являющихся сверткой химического состава.

Постановка задачи. На физико-механические свойства брикетов из многокомпонентных смесей влияют как характеристики прессуемых мелкофракционных материалов (насыпная плотность, размер и форма частиц, свойства материала частиц, соотношение компонентов смеси), так и условия прессования (давление, наличие и состав связующих, схема деформации и др.). Для изучения закономерностей прессования ряда сложных шихт, составленных из металлургических отходов, провели экспериментальные исследования с определением интегральных параметров межатомного взаимодействия.

В качестве компонентов шихт комплексного состава были выбраны типичные железосодержащие отходы – аглодоменный шлак ОАО «МК «Азовсталь», сталеплавильный шлак ОАО «Криворожсталь» и первичная прокатная окалина ОАО «Донецкий металлургический завод», а также углеродсодержащий отход – коксовая мелочь ОАО «Баглейкокс». Состав компонентов шихты приведен в табл.1. Достаточно высокое содержание железа в шламах и окалине позволяет считать брикеты из них полезной добавкой к традиционной шихте в доменном и сталеплавильном переделах. Металлургическая ценность шихты может быть повышена за счет углеродсодержащей добавки.

В качестве связующих использованы органическое крахмалосодержащее связующее (ОС) и меласса (М).

Было составлено 14 вариантов шихты, отличающихся видом и содержанием брикетируемых материалов и связующих; определена насыпная плотность шихт. Из этих шихт при давлении прессования $P = 50$ МПа по ранее описанной методике [1] были получены и испытаны на прочность прессовки; определен также их химический состав. Так, например, в прессовки, шихта для которых составлена из 38% аглодоменного шлама; 9,5% сталеплавильного шлама; 9,5% прокатной окалины; 38% коксовой мелочи и 5% органического связующего, содержат (% мас.): Fe_{об.} – 29,8; FeO – 10,6; Fe₂O₃ – 30,87; SiO₂ – 3,05; CaO – 4,50; MgO – 0,80; Al₂O₃ – 0,26; MnO – 0,10; K₂O – 0,09; Na₂O – 0,05; C – 38,17; S – 0,71; Zn – 0,22.

Таблица 1. Химический состав отходов, использованных при составлении шихт

№ пп	Вид отходов	Содержание, масс. %											п.п.п.			
		Fe _{общ}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	C		S	ZnO	
1	Агломерированный шлак ОАО «МК «Азовсталь»	48,65	9,43	59,16	7,33	9,87	1,25	0,59	0,09	0,19	0,10	8,25	0,35	0,45	11,68	
2	Сталеплавильный шлак ОАО «Криво-рождаль»	49,10	8,44	60,84	3,79	9,96	3,76	0,50	0,72	0,21	0,09		0,15	0,58	8,72	
3	Первичная прокатная окалина ОАО «Донецкий металлургический завод»	76,49	64,26	38,05	0,40											
4	Коксовая мелочь ОАО «Балей-кокс»											83,50	1,43			

Предполагается, что брикеты такого комплексного состава будут использоваться в шихте доменных печей и сталеплавильных агрегатов.

Результаты исследования.

На рис.1 приведены зависимости коэффициента уплотнения (K_y) шихт различного компонентного состава от давления.

При наложении давления происходит усадка шихты в прессформе, что приводит к изменению коэффициента уплотнения $K_y = \frac{h_0}{h_0 - h_{yc}}$,

где h_0 – начальная высота засыпки материала, а h_{yc} – изменение высоты засыпки при выбранном значении давления. Зная насыпную плотность шихты и K_y , можно определить текущие значения плотности прессовок γ при росте давления. Значения K_y и γ зависят как от давления, так и от состава многокомпонентной шихты.

Анализ изменения K_y и γ в зависимости от давления прессования показал, что они имеют одноподобный характер (рис.2.) и описываются с высоким коэффициентом корреляции уравнениями типа:

$$\gamma = a_1 \ln P + b_1 + \gamma_0 \quad (1)$$

$$K_y = a_2 \ln P + b_2 + K_{y0} \quad (2)$$

где a и b – постоянные коэффициенты, характеризующие тип шихты, γ_0 и K_{y0} – соответствуют значениям этих параметров в конце зоны «нечувствительности», т.е. при значениях давления, близких к нулю, при которых начинается отклонение диаграмм прессования от оси абсцисс (рис.1). Зона «нечувствительности» связана со значительным уплотнением материала при малых давлениях прессования только за счет взаимного перемещения частиц.

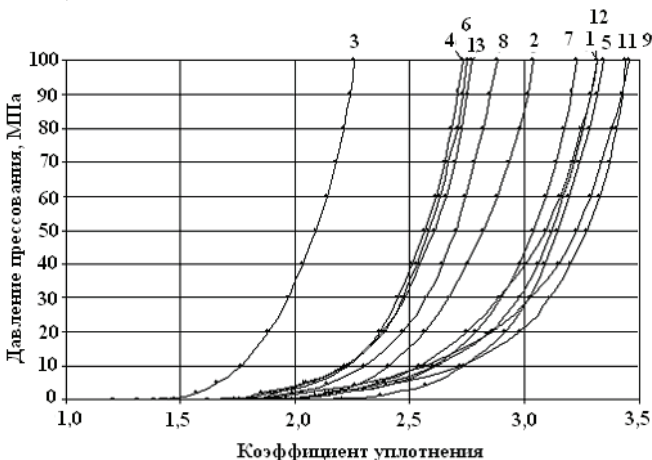


Рис.1. Зависимость коэффициента уплотнения шихт от давления прессования.

На Рис.1. приняты следующие обозначения:

1. 95% аглодоменного шлама + 5% органического связующего 9 – 57% прокатной окалины + 38% коксовой мелочи + 5% органического связующего.
2. 92% аглодоменного шлама + 8% мелассы 11 – 28,5% сталеплавильного шлама + 28,5% прокатной окалины +
3. 95% прокатной окалины + 5% органического связующего + 38% коксовой мелочи + 5% органического связующего
5. 57% аглодоменного шлама + 38% коксовой мелочи + 12 – 27,6% сталеплавильного шлама + 27,6% прокатной окалины + 5% органического связующего + 36,8% коксовой мелочи + 8% мелассы
6. 55,2% аглодоменного шлама + 36,8% коксовой мелочи + 13 – 38% аглодоменного шлама + 9,5% сталеплавильного шлама + 8% мелассы + 9,5% прокатной окалины + 38% коксовой мелочи + 5% органического связующего
7. 57% сталеплавильного шлама + 38% коксовой мелочи + 14 – 36,8% аглодоменного шлама + 9,2% сталеплавильного шлама + 5% органического связующего + 9,2% прокатной окалины + 36,8% коксовой мелочи + 8% мелассы
8. 55,2% сталеплавильного шлама + 36,8% коксовой мелочи + 8% мелассы

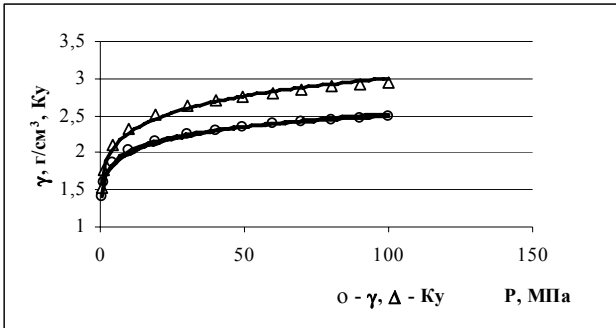


Рис.2. Зависимость параметров уплотнения от давления для шихты из 95% аглодоменного шлама и 5% ОС

Значения коэффициентов a и b в уравнениях (1) и (2) для шихт разного состава приведены в табл.2 и 3.

Исходя из элементного состава шихт были рассчитаны интегральные параметры межатомного взаимодействия d , Z^Y и $\operatorname{tg}\alpha$ [2].

Анализ изменения коэффициентов в уравнениях (1) и (2) показал их значимую связь с параметрами межатомного взаимодействия d , Z^Y , $\operatorname{tg}\alpha$ и насыпной плотностью шихты $\gamma_{\text{нас}}$.

Коэффициенты a_1 и a_2 для шихт разного состава на связках ОС и М связаны с интегральными параметрами в виде уравнений (r – коэффициент корреляции):

$$a_1 = 1,055 - 0,381d + 1,213Z^Y - 15,887\operatorname{tg}\alpha \quad (r = 0,81) \quad (3)$$

$$a_2 = 1,933 - 0,316d + 1,106Z^Y - 22,432\operatorname{tg}\alpha \quad (r = 0,84) \quad (4)$$

Таблица 2. Значения коэффициентов в уравнении (1) для шихт различного состава

№ (рис1)	$\gamma = a_1 \ln P + b_1 + \gamma_0$			r
	a_1	b_1	$c_1=(b_1+\gamma_0)$	
1	0,1795	0,1237	1,3237	0,9717
2	0,2075	0,5796	1,9796	0,9754
3	0,1585	0,0847	2,4747	0,9554
5	0,1439	0,1608	1,5108	0,9906
6	0,1543	0,3315	1,4915	0,9791
7	0,1705	0,1273	1,3673	0,9887
8	0,1782	0,5258	1,5158	0,9938
9	0,2543	0,1958	1,4158	0,9825
11	0,2111	0,2182	1,4482	0,9868
12	0,2708	0,6161	1,7061	0,9900
13	0,1366	0,2179	1,1379	0,9797
14	0,1650	0,3955	1,4855	0,9877

Таблица 3. Значения коэффициентов в уравнении (2) для шихт различного состава

№	$K_y = a_2 \ln P + b_2 + K_{y_0}$			r
	a_2	b_2	$c_2=(b_2+\gamma_0)$	
1	0,2717	0,1848	2,0148	0,9727
2	0,2105	0,5876	2,0076	0,9740
3	0,2752	0,1466	1,5366	0,9518
5	0,2179	0,2493	2,2993	0,9904
6	0,1904	0,4117	1,8417	0,9776
7	0,2550	0,1906	2,0406	0,9890
8	0,2172	0,6382	1,8482	0,9928
9	0,3376	0,2620	1,8820	0,9829
11	0,3010	0,3107	2,0702	0,9865
12	0,2708	0,6161	2,0560	0,9999
13	0,2123	0,3409	1,7709	0,9800
14	0,1979	0,4826	1,7926	0,9874

Аналогичные зависимости для шихт на одной связке (ОС или М) имеют более тесную связь ($r=0,93-0,96$). Выражая свободные члены в уравнениях (1) и (2) через $c_1 = b_1 + \gamma_0$ и $c_2 = b_2 + K_{y_0}$, с удовлетворительной точностью можно получить их зависимости от параметров меж-атомного взаимодействия:

$$c_1 = 6,511 + 1,854d - 2,65Z^Y - 36,974t\alpha \quad (r = 0,84) \quad (5)$$

$$c_2 = -3,009 - 0,764d + 1,789Z^Y + 31,764tg\alpha \quad (r = 0,65) \quad (6)$$

Таким образом, параметры уплотнения многокомпонентных шихт (γ и K_y) на связке из ОС и М при давлениях $> 0,5$ МПа описываются уравнениями (1) и (2), при этом коэффициенты a_1 и a_2 значимо коррелируют с интегральными параметрами межатомного взаимодействия d , Z^Y и $tg\alpha$, являющимися сверткой химического состава, а свободные члены в этих уравнениях c_1 и c_2 описываются через химический состав шихты и насыпную плотность не уплотненной исходной шихты. В процессе исследований изучена (по данным, приведенным в табл.4) также связь плотности и прочности на сжатие (σ) прессовок, полученных из рассматриваемых шихт при давлении прессования 100 МПа, с параметрами межатомного взаимодействия и условиями прессования. Так, прочность на сжатие сырых прессовок на связках ОС и М описываются уравнениями:

$$\sigma = -625,51 + 35,348d - 625,178Z^Y - 13841,5tg\alpha \quad (r = 0,74) \quad (7)$$

$$\sigma = 1181,607 + 428,005d - 1059,71Z^Y + 107,652tg\alpha - 265,979\gamma \quad (r = 0,84) \quad (8)$$

Для плотности сырых прессовок получена следующая зависимость:

$$\gamma = 5,273 + 1,692d + 1,224Z^Y - 61,589tg\alpha \quad (r = 0,956) \quad (9)$$

Для высушенных прессовок установлена связь прочности на сжатие ($\sigma_{унр.}$) в виде уравнения:

$$\sigma_{унр.} = 11459,6 - 2330,91d + 3301,815Z^Y - 117853,46tg\alpha + 470,652\gamma + 863,32C_{св.} - 15,989t_{унр.} \quad (r=0,947) \quad (10)$$

Следует отметить, что прочность брикетов из разных шихт на одной связке (как сырых, так и высушенных) с достаточно высоким коэффициентом корреляции связана с параметрами межатомного взаимодействия.

Для сырых брикетов получены следующие уравнения:

для связки ОС:

$$\sigma = -131,723 + 8,705d - 773,984Z^Y + 11911,18tg\alpha \quad (r = 0,914) \quad (11)$$

для связки М:

$$\sigma = -14561,9 - 3010,09d + 5564,179Z^Y + 101500,3tg\alpha \quad (r = 0,971) \quad (12)$$

Аналогичные уравнения получены и для высушенных упроченных брикетов ($r > 0,91$).

Таблица 4. Интегральные параметры межатомного взаимодействия шихты различного состава и свойства прессовок при P=100 МПа.

№ шихты *	$d \cdot 10^{-1}$ нм	Z^Y, e	$\text{tg}\alpha$	Тип связи	$C_{\text{св}}$	$\gamma_{\text{нас.}},$ г/см ³	$\gamma,$ г/см ³	$\sigma,$ кг/обр.	$t_{\text{упр.}},$ °C	$\sigma_{\text{упр.}},$ кг/обр
1	1,8874	1,4668	0,1209	ОС	5	0,92	2,84	183	120	380
3	2,1283	1,4213	0,1141	ОС	5	1,72	3,59	148	120	952
5	1,4921	1,2904	0,1192	ОС	5	0,66	2,07	262	120	1060
7	1,5210	1,3108	0,1199	ОС	5	0,67	2,04	340	120	776
9	1,5587	1,3647	0,1164	ОС	5	0,75	2,43	221	120	1550
11	1,5414	1,3398	0,1181	ОС	5	0,70	2,29	234	120	900
13	1,5084	1,3071	0,1188	ОС	5	0,64	1,68	293	120	970
14	1,5028	1,3009	0,1188	М	8	0,83	2,12	206	250	1335
2	1,8865	1,4680	0,1208	М	8	0,97	2,78	189	250	1145
6	1,4868	1,2844	0,1191	М	8	0,81	2,09	200	250	1472
8	1,5144	1,3036	0,1199	М	8	0,82	2,22	294	250	1620
12	1,5351	1,3333	0,1181	М	8	0,76	2,33	246	250	1538

*Нумерация соответствует табл. 2 и 3.

Заключение. Полученные зависимости позволяют, используя химический состав многокомпонентной шихты при свертке его через интегральные параметры межатомного взаимодействия d , Z^Y и $\text{tg}\alpha$ и исходные параметры шихты, прогнозировать ход процесса уплотнения и такие свойства прессовок, как прочность на сжатие и плотность.

Применимость полученных аналитических зависимостей характеристик уплотнения опробовали на ряде других шихт. Так, было экспериментально изучено уплотнение шихт из красного шлама Николаевского глиноземного завода на органическом связующем, а также из железорудного концентрата на связках из цемента и цемента с добавкой ОС. Зависимость K_y и γ рассчитывались по уравнениям (1) и (2), при этом коэффициенты a_1 и a_2 , c_1 и c_2 связаны соответствующими зависимостями с d , Z^Y и $\text{tg}\alpha$, рассчитанными по составу шихт на основе красного шлама и железорудного концентрата. Получено удовлетворительное совпадение расчетных зависимостей с экспериментальными.

1. *Исследование* физико-механических свойств мелкофракционных промышленных отходов, определяющих их поведение при брикетировании. В.А. Носков, Б.Н. Маймур, В.И. Петренко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1998. – № 4. – С. 104–107.
2. *Приходько Э.В.* Методики определения параметров направленного межатомного взаимодействия в молекулярных и кристаллических соединениях. // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 1995. – Т.17. – № 11. – С. 54–62.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько