

УДК 666.965

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.Н. ШАБАНОВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрен вопрос использования отходов литейного производства для производства строительных материалов. При этом решается проблема утилизации отходов и экономии природных сырьевых ресурсов. Рассмотрены отработанная формовочная смесь и гранулированный ваграночный шлак. Изучены структурно-механические свойства исследуемых порошков. Определены оптимальные соотношения фракций используемых материалов, обеспечивающие получение силикатного кирпича, отвечающего требованиям действующих стандартов.

Возрастающие объемы капитального строительства требуют значительного расширения объема производства всех видов строительных материалов и изделий, в том числе и силикатного кирпича. Силикатный кирпич является одним из самых распространенных и экономичных стеновых материалов. При этом заводы по производству силикатного кирпича работают на природном сырье [1].

Одним из методов ресурсосбережения является замена природных материалов на отходы промышленного производства, что позволит, во-первых, уменьшить расходы, связанные с удалением отходов в отвалы, а во-вторых, снизить себестоимость продукции.

В настоящее время для производства автоклавных строительных материалов из плотного и ячеистого бетонов, силикатного кирпича используются золы, доменные шлаки, вскрышные горные породы, отходы горных обогатительных комбинатов.

В работе исследована возможность получения силикатного кирпича с использованием отходов литейного производства - отработанной формовочной смеси (ОФС) и гранулированного ваграночного шлака.

В экспериментах использовали отработанные формовочные смеси литейного завода «Центролит» (Одесская область). Химический состав отработанной формовочной смеси представлен SiO_2 - 92,17...95,74 %; Al_2O_3 - 3,69...5,18; Fe_2C_3 - 1,0...5,37; CaO - 0,84...1,4; MgO - 0,20...1,50 и органические вещества - 1,34...2,56%.

Гранулометрический состав ОФС, определенный в соответствии с ГОСТ 21216, представлен в табл. 1.

Модуль крупности отработанной формовочной смеси изменяется в пределах от 1,159 до 1,445.

Насыпная плотность ОФС изменяется от 1296 до 1383 кг/м³; истинная плотность $\rho_n = 2650$ кг/м³; пустотность ОФС - 47,81...51,09 %. Отработанные формовочные смеси различных цехов имеют примерно одинаковые химический состав и физические свойства, что позволяет сделать вывод о возможности усреднения смесей различных производств и дальнейшем их комплексном использовании.

Таблица 1

Гранулометрический состав отработанной формовочной смеси

Вид отработанной формовочной смеси	Остаток на ситах, %	Размер отверстий сит, мм					Проход сквозь сито 0,14 мм, %
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Отработанная формовочная смесь цеха мелкого чугунолитейного	Частный	0,4	0,2	0,4	20,1	71,7	7,2
	Полный	0,4	0,6	1,0	21,1	92,8	-
Отработанная формовочная смесь цеха среднего чугунолитейного	Частный	1,7	1,9	1,6	31,5	60,6	2,7
	Полный	1,7	3,6	5,2	36,7	97,3	-
Отработанная формовочная смесь цеха крупного чугунолитейного	Частный	1,1	0,3	2,7	35,5	66,2	4,2
	Полный	1,1	1,4	4,1	29,6	95,8	-
Отработанная формовочная смесь цеха стального литейного	Частный	3,5	0,5	2,5	21,3	71,7	1,1
	Полный	3,5	4,0	6,5	28,7	98,9	-

В качестве части вяжущего для производства силикатного кирпича использовался гранулированный ваграночный шлак, получаемый при варке чугуна на литейном заводе «Центролит» (Одесская область). Шлак представляет собой стекловидный сыпучий материал с размерами зерен до 5 мм. Истинная плотность составляет 2910 кг/м³; насыпная плотность - 1550 кг/м³. Химический состав ваграночного шлака представлен SiO_2 - 48,10 %; Al_2O_3 - 15,30; Fe_2O_3 - 8,57; CaO - 28,28; MgO - 3,0; MnO - 13,66; органические вещества - 0,248.

По классификации, предложенной П.И. Боженковым [3], данный вид шлака можно отнести к кислому сырью ($K_{осн} = 0,44$), которое при автоклавном производстве силикатных материалов требует дополнительного обогащения сырьевой смеси известью. В качестве вяжущего в исследованиях использовали известь Рыбницкого цементно-шиферного комбината. Известь отвечает требованиям, предъявляемым к сырью первого сорта.

Силикатные материалы относятся к одной из разновидностей композиционных строительных материалов [2]. Считается, что качественные характеристики строительных материалов зависят от грубозернистой составляющей, а мелкозернистая играет роль структурообразующего элемента, не дающего крупным зернам менять свое положение [3].

Структурообразование композиционных строительных материалов происходит не только в результате физико-химических превращений вяжущего, но также в результате физико-механических явлений взаимодействия отдельных компонентов и целых структур. Целенаправленное воздействие на твердеющий материал позволяет изменять в нужном направлении структуру и свойства многокомпонентных систем.

Свойства полиструктурных строительных материалов формируются на стадии подготовки исходных компонентов и технологической обработки полученного сырца. А.И. Рыбьев отмечает, что свойства готового изделия зависят от плотности укладки компонентов, их взаимодействия на этапе перемешивания и после технологической обработки.

Взаимодействие между частицами порошков изучали по силе сцепления частиц (аутогезионной прочности порошков), структурной прочности и насыпной плотности порошков. Силу сцепления частиц оценивали по разрывной прочности сыпучих и слабоуплотненных порошков. Для этого приводили в соприкосновение со слоем порошка пластину известной площади. Затем пластину поднимали с помощью торсионных весов. В момент отрыва пластины фиксировали силу отрыва. Структурную прочность порошков определяли по методике, основанной на внедрении в образец конусообразного штампа с использованием пластометра Ребиндера.

На первом этапе исследовали свойства порошков разных фракций, получаемых дроблением отработанной формовочной смеси и гранулированного ваграночного шлака. Полученные результаты аутогезионной прочности порошков представлены на рис. 1, структурной прочности - на рис. 2, насыпной плотности - в табл. 2.

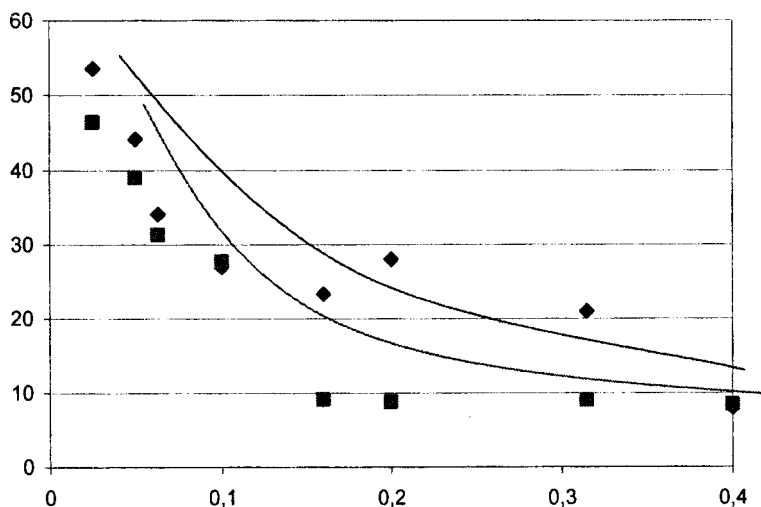


Рис. 1. Зависимость силы сцепления частиц от размера фракции:
 ■ - гранулированный ваграночный шлак; ◆ - отработанная формовочная смесь

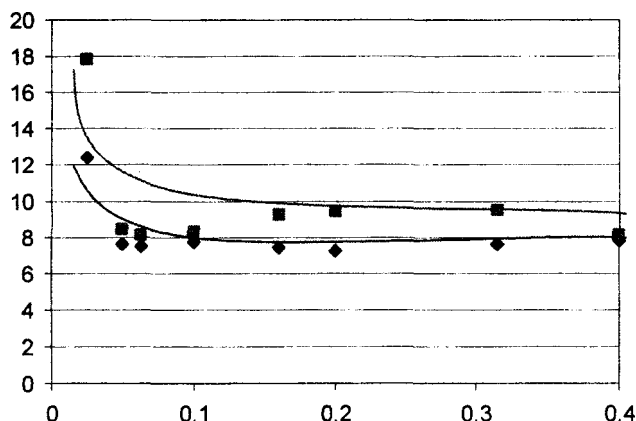


Рис. 2 - Зависимость структурной прочности от размера фракции

■ - гранулированный ваграночный шлак
 ◆ - отработанная формовочная смесь

Таблица 2

Насыпная плотность порошков, кг/м³

Фракция частиц, мм	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	Менее 0,05
Гранулированный ваграночный шлак	1569	1465	1468	1468	1442	1324	1225	1006
Отработанная формовочная смесь	1393	1384	1370	1361	1373	1118	931	751

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением дисперсности частиц происходит увеличение прочностных показателей порошков.

Следует отметить, что силы сцепления частиц отработанной формовочной смеси выше, чем у ваграночного шлака. Структурная прочность ОФС ниже структурной прочности ваграночного шлака при сопоставимых размерах частиц. При этом насыпная плотность снижается, что можно объяснить увеличением влияния сил взаимного отталкивания при снижении размера частиц и кластеризации, которые уравновешивают силы тяжести частиц.

Строительные материалы формируются из порошков, включающих частицы разных размеров. При этом более мелкие частицы заполняют пустоты между более крупными, что способствует плотной упаковке частиц и приводит к увеличению физико-механических свойств материала.

На втором этапе исследовали свойства порошков, состоящих из смеси частиц различных фракций. В качестве мелкого наполнителя была принята фракция менее 0,05 мм, которую вводили в количестве 20, 40, 60 и 80 % от общей массы смеси. Полученные результаты определения аутогезионной, структурной прочности и насыпной плотности полученных составов приведены соответственно в табл. 3, 4, 5.

Таблица 3

Аутогезионная прочность двухкомпонентных порошков

Процентное содержание крупной фракции	Фракция, мм						
	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05
Гранулированный ваграночный шлак							
20	33	48,3	51,3	66	59,3	58,1	58
40	34	53	49,3	51,5	50,5	58	48,7
60	31	42,5	44	48	44,5	56,5	47
80	11,3	26,3	33,3	40,7	41,3	48,5	40,7
Отработанная формовочная смесь							
20	54,6	59,8	57,3	51	51,6	57,1	57,3
40	53,1	49,8	55,1	48,4	47,6	53	56,6
60	44,5	41	43,3	44,5	45,3	49,6	51,5
80	28,3	31,5	33,3	31,5	42,3	32,5	39,5

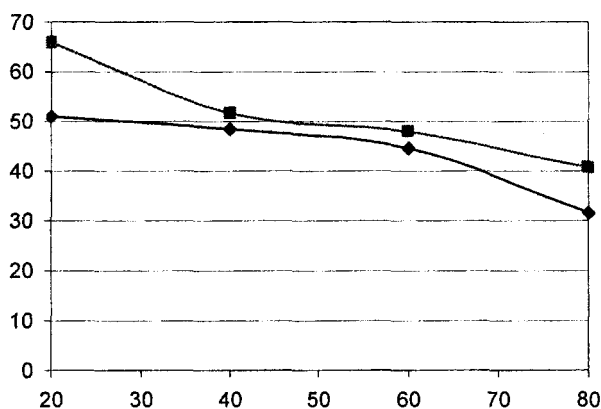


Рис. 3. Зависимость аутогезионной прочности полученных частиц фракции 0,16 мм: ■ – из гранулированного ваграночного шлака; ◆ – отработанной формовочной смеси

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с увеличением количества частиц крупных фракций силы сцепления снижаются.

Таблица 4

Структурная прочность двухкомпонентных порошков

Процентное содержание крупной фракции	Фракция, мм						
	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05
Гранулированный ваграночный шлак							
20	5,6	6,4	5,4	6,2	6,5	6,9	6,1
40	4,9	5,1	4,8	5,5	5,6	7,5	7,4
60	4,5	4,9	4,7	5,1	5,2	5,7	5,9
80	4,3	4,3	4,4	4,6	4,3	5,3	5,4
Отработанная формовочная смесь							
20	5,9	6,0	6,0	6,3	6,5	5,3	5,8
40	6,1	5,9	6,1	6,7	6,3	6,3	5,9
60	5,9	5,6	5,7	5,6	6,0	5,7	6,1
80	4,7	5,1	4,9	4,9	5,1	6,1	5,5

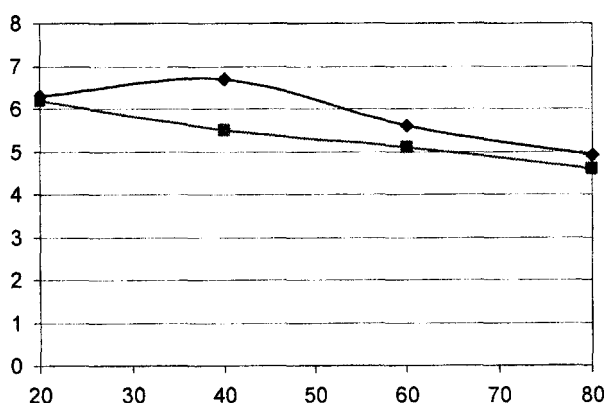


Рис. 4. Зависимость структурной прочности полученных частиц фракции 0,16 мм: ■ - из гранулированного ваграночного шлака; ◆ - отработанной формовочной смеси

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что структурная прочность изменяется незначительно при изменении фракционного состава порошков.

Таблица 5

Насыпная плотность двухкомпонентных порошков

Процентное содержание крупной фракции	Фракция, мм						
	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05
Гранулированный ваграночный шлак							
20	1082	1053	1035	1053	1006	1018	976
40	1282	1224	1212	1200	1165	1094	1029
60	1429	1400	1376	1329	1265	1229	1082
80	1559	1500	1448	1429	1371	1312	1165
Отработанная формовочная смесь							
20	718	706	783	794	718	682	653
40	841	824	1000	971	806	741	712
60	1059	976	1159	1106	1076	871	765
80	1276	1235	1294	1235	1171	976	847

Анализ полученных данных показал, что увеличение количества мелких частиц приводит к увеличению прочностных характеристик порошков. Это можно объяснить увеличением количества контактов между частицами. Насыпная плотность смесей имеет обратный характер, увеличение содержания мелких частиц в составах способствует снижению насыпной плотности.

Из таблицы 1 видно, что отработанная формовочная смесь представляет собой порошок с преобладанием фракций 0,315...0,14 мм, поэтому представляет интерес изменение структурно-механических свойств двухкомпонентных составов данных фракций с добавлением фракции менее 0,05 мм. Анализ полученных результатов показал, что при увеличении доли мелких фракций прочностные характеристики возрастают, насыпная плотность снижается. При использовании отработанной формовочной смеси прочностные характеристики при равном вводе фракции менее 0,05 мм для крупных фракций имеют свой максимум, приходящийся на фракции 0,2...0,1 мм.

Анализ влияния состава двухкомпонентных смесей на физико-механические свойства показал, что при содержании крупных частиц в пределах 40...60 % прочностные характеристики порошков постоянны.

Дальнейшие исследования были направлены на определение степени влияния высокодисперсного порошка (в нашем случае извести-кипелки) на смесь, состоящую из шлака - порошок крупностью 0,063 мм - (50 весовых частей); отработанной формовочной смеси - порошок крупностью 0,063 - (100 весовых частей). Расход извести в процентном отношении изменялся в интервале от 0 до 100 %, через 5 %. Полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6

Структурно-механические свойства трехкомпонентных порошков

Процентное содержание извести	Сила отрыва, мг	Структурная прочность, г/см ²	Насыпная плотность, кг/м ³
0	36	4,3	1196
5	39,3	2,7	1185
10	45,6	3,1	1047
15	46,5	4,0	978
20	49,6	6,0	954
25	50,6	5,9	918
30	55,3	7,4	898
35	55,3	7,3	853
40	55,6	7,2	789
50	54,0	4,4	795
100	54,3	1,8	352

Анализ данных, приведенных в таблице 6, позволяет сделать следующий вывод: увеличение количества извести в составе порошков приводит к увеличению структурно-механических свойств и снижению насыпной плотности. При этом структурная прочность и сила отрыва имеют свой максимум при вводе извести в количестве 20...40 % от массы смеси.

На следующем этапе исследовали свойства многокомпонентных порошков, полученных при введении в ОФС смеси мелкодисперсных компонентов в количестве 30 %. В качестве мелкодисперсного

наполнителя использовали смесь ОФС и извести (И), полученной совместным помолом до удельной поверхности 350 м²/кг. Соотношение извести к ОФС изменялось от 0,5 до 1,5. В качестве части вяжущего в состав вводили шлак фракции 25 мкм, 75 мкм и 125 мкм в количестве от 0 до 100 % от массы наполнителя. При этом определяли аутогезионную, структурную прочность и насыпную плотность порошков. Полученные результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7

Структурно-механические свойства порошков

Процент шлака	И/ОФС = 0,5			И/ОФС = 1,0			И/ОФС = 1,5		
	Р отрыва	Р _{стр.}	плот- ность	Р отрыва	Р _{стр.}	плот- ность	Р отрыва	Р _{стр.}	плот- ность
Размер фракции шлака 25 мкм									
0	5,675	2,63	0,380	6,574	2,45	0,325	5,793	2,44	0,288
10	6,792	2,73	0,472	6,016	2,73	0,371	6,162	2,47	0,316
30	6,501	2,96	0,495	4,658	2,88	0,459	5,531	2,55	0,378
50	4,488	3,06	0,534	5,24	3,00	0,528	6,162	2,92	0,440
70	6,162	3,59	0,576	5,111	3,53	0,550	6,016	3,02	0,537
100	6,501	3,59	0,697	4,852	3,55	0,733	5,628	3,22	0,762
Размер фракции шлака 75 мкм									
0	4,366	2,63	0,380	4,046	2,45	0,325	4,609	2,44	0,288
10	5,89	3,02	0,371	5,143	2,98	0,388	4,318	2,77	0,319
30	3,833	3,04	0,469	4,9	3,04	0,423	4,706	2,97	0,417
50	4,143	3,89	0,544	5,725	3,72	0,524	4,444	3,33	0,488
70	4,609	4,43	0,622	4,561	4,12	0,606	4,299	3,55	0,609
100	5,046	4,74	0,759	3,949	4,22	0,752	4,56	3,96	0,840
Размер фракции шлака 125 мкм									
0	3,784	2,63	0,380	4,488	2,45	0,325	3,784	2,44	0,288
10	4,337	3,26	0,417	5,773	3,26	0,345	4,92	3,29	0,300
30	3,493	3,93	0,488	5,288	3,96	0,427	5,24	3,72	0,365
50	3,906	4,43	0,528	5,046	4,39	0,498	4,396	4,66	0,492
70	4,143	5,04	0,596	5,822	5,02	0,632	4,531	4,98	0,600
100	4,628	5,25	0,801	4,342	5,12	0,795	4,98	5,12	0,837

Из табл. 7 видно, что при прочих равных условиях с увеличением количества извести в составе мелкодисперсного наполнителя структурно-механические показатели порошков возрастают. Увеличение количества шлака также приводит к увеличению силы отрыва и структурной прочности порошков. При этом более крупные частицы шлака позволяют получать составы с более высокими структурно-механическими свойствами.

Силикатные материалы приобретают эксплуатационные свойства после автоклавной обработки. Для оценки влияния компонентов силикатной массы на физико-механические свойства материалов подвергали автоклавной обработке образцы, полученные из составов, приведенных в табл. 7. Для этого вводили воду в соотношении 0,25 от количества мелкодисперсных компонентов и формовали образцы при удельном давлении формования 20 МПа. Образцы, для которых прочность сырца оказывалась более 0,4 МПа, подвергали автоклавной обработке в течение 7 часов при давлении пара 1,0 МПа. Полученные результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Прочность на сжатие сырца и автоклавированного материала (кг/см²)

Процент шлака	И/ОФС = 0,5		И/ОФС = 1,0		И/ОФС = 1,5	
	Р _{сж. сырца} , кг/см ²	Р _{сж. авт.} , кг/см ²	Р _{сж. сырца} , кг/см ²	Р _{сж. авт.} , кг/см ²	Р _{сж. сырца} , кг/см ²	Р _{сж. авт.} , кг/см ²
1	2	3	4	5	6	7
Размер фракции шлака 25 мкм						
0	9,5	306	9,5	154	7,2	118
10	10,4	316	10,7	163	12,4	119
30	8,7	306	8,7	314	10,7	200
50	11,0	444	13,0	394	10,0	301
70	7,9	381	9,9	464	7,8	396
100	3,0	—	2,4	—	2,4	—

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6	7
Размер фракции шлака 75 мкм						
0	9,5	306	9,5	154	7,2	118
10	9,9	247	9,5	189	11,1	159
30	9,5	290	11,1	212	14,9	159
50	10,0	408	10,1	341	9,9	250
70	7,2	363	10,0	367	9,5	332
	1,7	-	1,4	-	1,1	-
Размер фракции шлака 125 мкм						
0	9,5	306	9,5	154	7,2	118
10	9,5	337	9,5	146	9,6	123
30	10,1	317	12,5	177	12,4	160
50	10,2	435	13,8	314	9,9	215
70	9,9	409	12,2	414	11,0	301
100	3,0	-	2,7	-	1,9	-

Увеличение отношения И/ОФС приводит к увеличению прочности материала 11,8 до 30,6 МПа. Введение шлака в состав сырьевой смеси также способствует возрастанию прочностных показателей.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с использованием отработанной формовочной смеси и гранулированного ваграночного шлака можно получать силикатные материалы прочностью от 10 до 40 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боженев П.И. Технология автоклавных материалов. - Л.: Стройиздат, 1978. - 368 с.
2. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Изв. вузов: Строительство и архитектура. - 1980. - № 8. - С. 61 - 70.
3. Боженев П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. - М.: Изд-во АСВ, 1994.-264 с.