

Д. т. н. В. Н. Соков (✉)

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

УДК 666.762.11-492.3-127

ВЫСОКОПОРИСТЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ КОРУНДОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ГЛИНОЗЕМОПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ МАСС. Часть 5. Влияние дисперсности и влажности формовочных масс на гранулируемость и физико-технические свойства заполнителя*

Установлено, что процесс окомкования формовочных масс проходит в три стадии: образование зародышей, рост гранул и массообмен между ними. Добавка поверхностно-активного вещества улучшает гранулируемость и снижает формовочную влажность, повышает прочность сырцовых гранул. Дисперсность исходного материала значительно влияет на силы капиллярного взаимодействия, являющиеся основными при окомковании формовочных масс.

Ключевые слова: глиноземополистирольные массы, гранулированный корундовый заполнитель, смачиваемость, дисперсность компонентов, поверхность соприкосновения фаз, гранулируемость.

Процесс окомкования увлажненных глиноземополистирольных масс проходит в три стадии: образование зародышей окомкования, рост гранул и массообмен между ними. Обязательным условием процесса грануляции формовочных масс является наличие зародышевых центров окомкования, в которых поры заполнены водой, и оптимальных уплотняющих нагрузок. При мокром способе грануляции зародышевые центры, как правило, формируются при приготовлении масс в смесителе. Основному динамическому воздействию гранулируемая смесь подвергается в результате многократных столкновений и ударов о неподвижный слой материала и стенки гранулятора. Частицы сыпучего материала, увлажненного до состояния максимальной капиллярной влагоемкости, приобретают большую свободу перемещения, способствующую образованию более прочной и плотной структуры сырца. Обладая достаточной массой,

зародышевые центры в процессе грануляции получают необходимый запас кинетической энергии, большая часть которой расходуется на перестройку их структуры. При уплотнении окатышей под воздействием динамических усилий на поверхность выдавливается некоторое количество избыточной влаги, способствующей массообмену и росту гранул. По мере выдавливания влаги происходит сближение частиц гранулируемой массы, что приводит к увеличению прочности сцепления и уплотнению структуры сырца. Таким образом, величина сил сцепления частиц глиноземополистирольных смесей определяется в значительной степени содержанием в формовочной массе воды и величиной динамического воздействия на нее. Зависимость прочностных характеристик гранулята от влажности носит экстремальный характер и определяется свойствами твердых компонентов (химико-минеральным и гранулометрическим составами, состоянием поверхности, формой частиц, условиями окатывания и т. п.). Повышение влажности сверх оптимального значения ускоряет процесс грануляции, но вместе с тем приводит к снижению прочности сырцовых гранул.

Весьма благоприятное воздействие на формовочные свойства глиноземополистирольных масс оказывает добавка сульфитно-спиртовой бражки (с. с. б.). Она дает возможность улучшить гранулируемость без дополнительного увеличения формовочной влажности, так как содержащиеся в составе с. с. б. поверхностно-

* Части 1 и 2 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 7 за 2017 г., часть 3 — в № 9 за 2017 г., часть 4 — в № 11 за 2017 г.



В. Н. Соков
E-mail: sersok_07@mail.ru

активные вещества, адсорбируясь на поверхности твердых частиц материала, образуют коллоидные адсорбционные пленки гидрофильного характера, способствующие улучшению смачиваемости и подвижности смеси, создавая благоприятные условия для уплотнения масс. В работе исследовали влияние количества с. с. б. на гранулометрический состав и прочностные свойства корундовых гранул.

Для изготовления образцов использовали смеси, увлажненные раствором с. с. б. с различным содержанием ПАВ (разной плотности). Постоянными были приняты соотношение электрокорунд : технический глинозем, равное 70 : 30 мас. %, содержание пенополистирола 4,7 % (сверх 100 %), влажность масс 15 %. Параметры грануляции: продолжительность 6,0 мин, частота вращения тарелки 24 об/мин, угол наклона тарелки 45°. Результаты опытов показаны на рис. 1. Анализ полученных данных показал, что увеличение плотности с. с. б. способствует улучшению

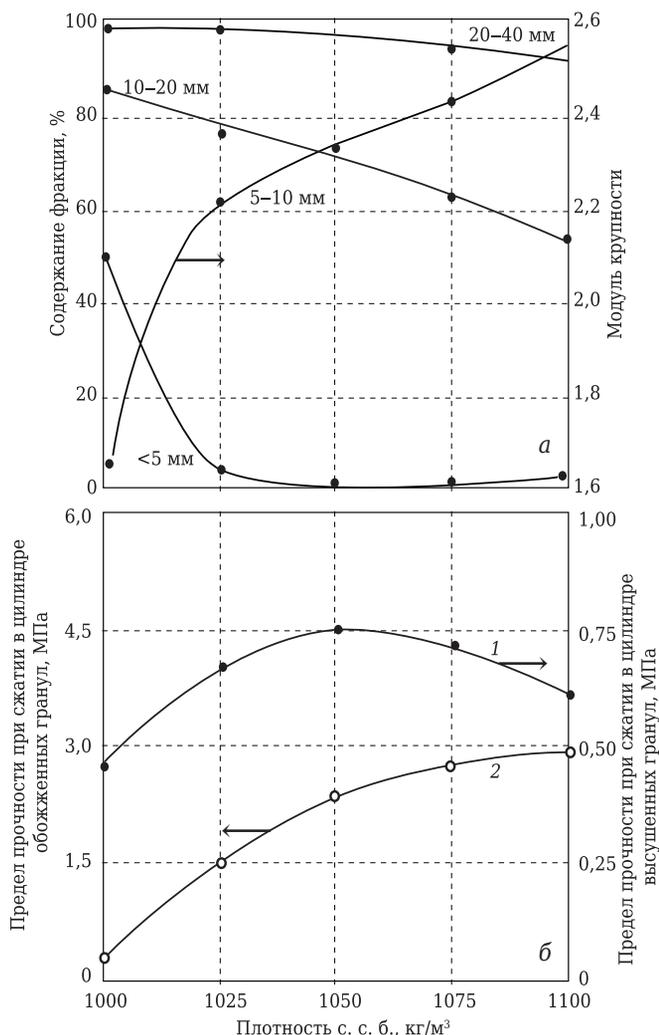


Рис. 1. Влияние плотности добавки с. с. б. на выход фракций заполнителя и его модуль крупности (а), а также прочностные характеристики сырьевых (1) и обожженных (2) гранул (б)

гранулируемости и получению более крупного гранулята, однако при плотности с. с. б. более 1050 кг/м³ прочность обожженных гранул снижается из-за увеличения их пористости и ухудшается коэффициент их формы (отношение длины зерен гранул к их диаметру). Увеличение плотности с. с. б. повышает прочность высушенных гранул, что объясняется ростом количества и составом с. с. б., образующих при испарении влаги тонкую пленку клеящего вещества, прочно связывающую частицы материала.

Максимальная прочность обожженных сфер и благоприятное соотношение фракций 5–10 и 10–20 мм получаются при введении добавки с. с. б. плотностью 1050 кг/м³, которая и была принята для дальнейших исследований.

Одним из факторов, определяющих оптимальную влажность формовочных масс, является дисперсность компонентов глиноземополистирольной смеси. Вместе с тем гранулометрический состав исходных сырьевых материалов существенно влияет на все основные технологические параметры производства легковесных корундовых гранул и в конечном счете во многом определяет физико-технические свойства готового продукта. Прочность сцепления частиц под действием молекулярных сил прямо пропорциональна дисперсности гранулируемого материала и зависит от его пористости. Так, если межзерновая пористость достаточно высока, то силы межмолекулярного притяжения значительно уменьшаются из-за увеличения расстояний между отдельными частицами. Повышение дисперсности вещества и связанный с этим рост поверхности зерен способствуют росту поверхности соприкосновения фаз, а также дефектности кристаллических решеток гранулируемых материалов. Это приводит к возникновению, преимущественно на углах и ребрах кристаллической решетки, электрических потенциалов. Частички материала приобретают способность легко адсорбировать на своей поверхности свободные ионы дисперсионной среды, и в частности ионы воды.

Дисперсность исходного материала значительно влияет также на силы капиллярного взаимодействия, которые являются основными при окомковании глиноземополистирольных масс. Силы капиллярного сцепления в объеме увлажненного материала, а следовательно, и его гранулируемость тем выше, чем выше его дисперсность, так как суммарная величина сил сцепления F , отнесенная к единице площади слоя материала, обратно пропорциональна среднему размеру частиц:

$$F = \frac{\sigma K_1(K_1 K_2 + 2)}{4} \cdot \frac{1}{R'}$$

где σ — поверхность натяжения жидкости; K_1 и K_2 — коэффициенты, учитывающие угол смачивания частиц материала; R — радиус частиц.

В сочетании с уплотняющими усилиями, возникающими в тарельчатом грануляторе и способствующими более плотной упаковке частиц, уменьшая эффективный радиус пор, силы капиллярного сцепления могут достигать значительной величины. Для получения плотной упаковки зерен исходного материала, обеспечивающей максимальную силу сцепления между частицами, сырьевая смесь должна по возможности иметь полидисперсный состав. Мелкие частицы гранулируемого материала, заполняя поры между крупными зёрнами, уменьшают общую пористость и увеличивают поверхность контакта частиц, а следовательно, и прочность. Недостаточное содержание мелких фракций уменьшает плотность и прочность окатышей, избыток — приводит к раздвижке крупных частиц, ухудшая функцию жесткого каркаса, воспринимающего статические и динамические нагрузки. Только при определенном соотношении крупных и мелких фракций получается оптимальная упаковка зерен гранулируемого материала.

Поскольку дисперсность пенополистирола ограничивается условиями окомкования, а выбор дисперсности электроплавленного корунда обусловлен показателем термостойкости материала, предметом изучения влияния дисперсности на гранулируемость глиноземополистирольных масс и свойства гранул явился технический глинозем. Одновременно изучали влияние влажности формовочных масс различного состава на прочностные характеристики и гранулометрический состав сырцовых гранул. Критерием для определения оптимальной влажности формовочной массы явились максимальная прочность и однородность фракционного состава получаемых сырцовых гранул. Оптимальная влажность, при которой образуются наиболее прочные и однородные по фракционному составу гранулы, соответствует максимальной молекулярной влагоемкости материала.

При проведении исследований использовали сырьевые смеси приведенные в табл. 1. Водный раствор с. с. б. плотностью 1050 кг/м³ вводили в сырьевые смеси в количестве 11–29 % (от массы сухих компонентов). Данные о влиянии влажности формовочных масс разного состава на гранулометрию и прочность сырцовых гранул при различной дисперсности технического глинозема приведены в табл. 2, при постоянной — показаны на рис. 2, 3. Зависимость фракционного состава гранул от дисперсности технического глинозема на примере состава 3 показана на рис. 4, а; изучали также влияние тонины помола технического глинозема на качество спекания материала. Грануляции подвергали также формовочные массы состава 3 (см. табл. 1) при одинаковом V/T , равном 0,20. Результаты исследований показаны на рис. 4, б.

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы.

1. Удельная поверхность технического глинозема влияет на влажность гранулируемой массы, причем чем выше тонина помола глинозема, тем большее количество влаги необходимо ввести в ее состав для получения удовлетворительных формовочных свойств.

2. Вместе с тем дисперсность технического глинозема заметно влияет на гранулометрический состав и прочностные характеристики

Таблица 1. Состав сырьевой смеси

Компонент смеси	Содержание компонента, об. %, в составе		
	1	2	3
Электроплавленный корунд	14,7	19,6	24,5
Технический глинозем	6,3	8,4	10,5
Пенополистирол	79,0	72,0	65,0

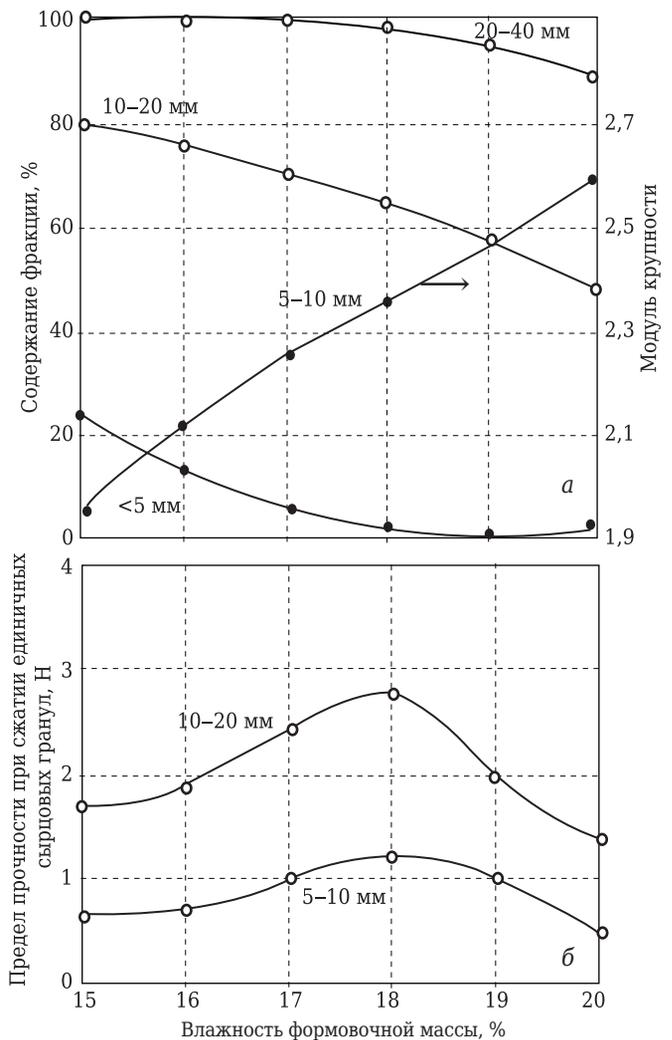


Рис. 2. Влияние влажности формовочной массы состава 1 (см. табл. 1) на гранулометрию и модуль крупности сырцовых гранул (а), а также на предел прочности при сжатии единичных сырцовых гранул (б) разных фракций (указаны на кривых)

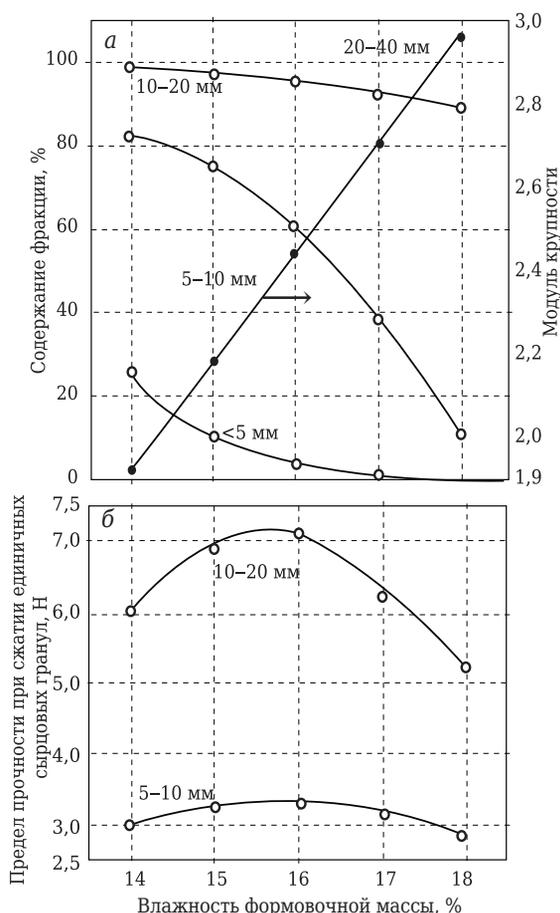


Рис. 3. Влияние влажности формовочной массы состава 3 на выход фракций и модуль крупности сырцовых гранул (а), а также на предел прочности при сжатии единичных сырцовых гранул разных фракций (б)

сырцовых гранул. Увеличение дисперсности улучшает гранулируемость глиноземополистирольных масс, способствует получению более мелких и прочных сырцовых гранул, а также улучшению спекаемости материала (росту прочности, плотности, огневой усадки и т. д.).

3. Рост влажности формовочных масс при постоянной дисперсности технического глинозема содействует укрупнению получаемых гранул.

4. Для каждой дисперсности глинозема имеется оптимальное влагосодержание, позволяющее получать более однородный фракционный состав (благоприятное соотношение фракций 5–10 и 10–20 мм) и более высокую прочность гранул. С увеличением крупности зерен глинозема оптимальное влагосодержание уменьшается. Значения оптимального влагосодержания исследуемых смесей 1–9 (см. табл. 2) соответственно равны 15, 18, 27, 13, 16, 23, 13, 16 и 22–23 %.

5. Оптимальное влагосодержание масс различных составов при постоянной дисперсности технического глинозема не очень заметно

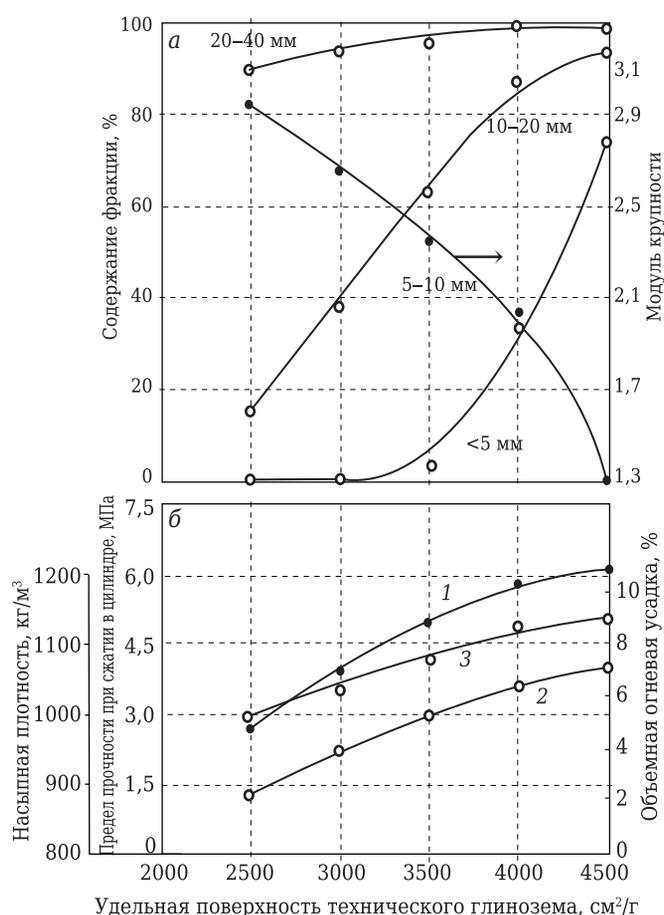


Рис. 4. Влияние удельной поверхности технического глинозема на выход фракций и модуль крупности сырцовых гранул (а), а также на предел прочности при сжатии (1), насыпную плотность (2) и объемную огневую усадку (3) обожженных гранул (б) при постоянных В/Т и содержании пенополистирола

различается, что объясняется тем, что удельная поверхность исходных смесей примерно одного порядка, а у состава 1 даже несколько выше.

6. Удельная поверхность частиц технического глинозема, равная 3000 см²/г, позволяет работать при более низкой формовочной влажности, что значительно ускоряет процесс сушки полуфабриката, однако низкие прочностные характеристики гранулята делают ее применение нерациональным.

7. Удельная поверхность частиц технического глинозема, равная 4500 см²/г, позволяет получать плотные и прочные сырцовые гранулы, однако при этом значительно повышается влагосодержание масс, что требует продолжительной сушки материала и дополнительных затрат на помол глинозема.

8. Наиболее оптимальной, с нашей точки зрения, является удельная поверхность частиц 3500–3800 см²/г. Она позволяет получать при низкой формовочной влажности сырцовые гранулы с достаточной прочностью, максимальным

Таблица 2. Влияние влажности формовочных масс составов 1–3 на гранулометрию и прочность сырьевых гранул при различной дисперсности технического глинозема

Номер смеси	Удельная поверхность технического глинозема, см ² /г	Влажность массы, %	Выход фракции, мас. %				Предел прочности при сжатии, Н, единичных сырьевых гранул размерами, мм			
			< 5 мм	5–10 мм	10–20 мм	20–40 мм	5–10	10–20		
<i>Состав 1</i>										
1	3000	13	29,0	50,0	21,0	–	–	0,4		
		14	19,0	52,0	29,0	–	0,3	1,1		
		15	4,0	57,0	38,5	0,5	0,6	1,7		
		16	2,0	54,0	41,0	3,0	0,55	1,1		
		17	–	50,0	46,0	4,0	0,4	0,7		
2	3500–3800	15	24,0	56,0	20,0	–	0,6	1,7		
		16	15,0	62,0	22,5	0,5	0,7	1,9		
		17	7,0	63,0	28,5	1,5	1,0	2,4		
		18	0,3	66,5	30,5	2,7	1,2	2,8		
		19	–	56,5	39,0	4,5	1,2	2,0		
3	4500	20	–	49,0	42,5	8,5	0,5	1,4		
		25	29,5	52,5	18,0	–	1,0	2,1		
		26	15,0	56,5	28,0	0,5	1,6	2,9		
		27	3,5	57,0	39,0	0,5	2,0	3,5		
		28	0,5	52,0	43,0	4,5	1,4	2,7		
		29	–	47,0	47,0	6,0	1,2	2,0		
		<i>Состав 2</i>								
		4	3000	11	34,0	48,0	18,0	–	0,4	1,0
				12	21,0	54,0	24,0	1,0	0,9	2,1
				13	8,0	59,0	30,0	3,0	1,1	2,9
14	3,0			55,0	37,0	5,0	1,0	2,6		
15	1,0			47,0	42,5	9,5	0,8	1,8		
5	3500–3800	13	42,0	52,5	5,5	–	1,5	2,9		
		14	30,0	56,0	14,0	–	1,9	3,5		
		15	17,0	60,0	22,5	0,5	2,6	4,5		
		16	4,0	66,0	29,0	1,0	2,5	4,5		
		17	2,5	44,0	46,0	7,5	2,0	4,1		
6	4500	18	0,7	29,0	60,0	10,3	1,8	3,6		
		20	42,0	54,0	4,0	–	2,5	4,5		
		21	26,5	61,0	12,0	0,5	3,0	5,4		
		22	15,0	70,0	14,0	1,0	3,4	6,0		
		23	10,0	64,0	23,0	3,0	3,0	5,7		
		24	5,0	62,0	29,0	4,0	2,9	5,0		
		<i>Состав 3</i>								
		7	3000	11	25,5	48,5	25,0	1,0	0,5	2,0
				12	12,0	50,0	37,0	1,0	1,5	4,0
				13	3,0	52,0	43,0	2,0	2,0	5,0
14	3,0			47,5	46,0	3,5	1,8	4,0		
15	2,0			44,0	50,5	3,5	1,0	3,5		
8	3500–3800	13	38,0	51,5	10,5	0	2,5	5,0		
		14	25,0	58,0	17,0	0	3,0	6,0		
		15	10,0	64,0	23,0	3,0	3,25	6,9		
		16	4,0	59,0	33,0	4,0	3,30	7,2		
		17	1,0	35,0	56,0	8,0	3,10	6,2		
9	4500	18	1,0	11,0	78,0	10,0	2,85	5,2		
		20	37,0	53,0	10,0	0	3,9	6,5		
		21	23,5	57,5	18,0	1,0	4,7	7,7		
		22	12,5	61,0	28,5	1,0	5,2	8,3		
		23	10,0	67,1	19,9	3,0	5,6	9,0		
		24	8,0	62,0	26,5	3,5	5,4	7,6		
		25	7,0	57,5	31,5	4,0	4,9	5,8		

выходом и рациональным соотношением фракций 5–10 и 10–20 мм. Обожженные гранулы при такой дисперсности глинозема обладают достаточно высокими прочностными показателями при относительно небольших насыпной плотности и огневой усадке. Для получения такой дисперсности можно использовать помольное оборудование, применяемое на всех предприятиях огнеупорной промышленности для получения рядовых огнеупоров.

На основании вышеизложенного в дальнейших исследованиях использовали технический глинозем с удельной поверхностью частиц 3500–3800 см²/г и формовочные массы абсолютной влажностью 16,0–18,0 %. ■

Получено 02.03.17
© В. Н. Соков, 2018 г.