

УДК 666.762.11-492.3-127

# ВЫСОКОПОРИСТЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ КОРУНДОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ ГЛИНОЗЕМОПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ МАСС. Часть 9. Физико-технические свойства пористых корундовых гранул и засыпок на их основе\*

Приведены результаты исследований прочностных характеристик как отдельных фракций, так и смесей на их основе. Установлено, что для снижения теплопроводности засыпки следует уменьшать диаметр гранул либо создавать более плотные полидисперсные композиции. Введение в состав шихты корундового наполнителя крупностью 60 мкм повышает термостойкость гранул.

**Ключевые слова:** корундовые гранулы, засыпная теплоизоляция, глиноземополистирольная масса, коэффициент формы гранул, межзерновая пустотность, упаковка гранул.

**Ф**ормирование основных свойств пористых гранул происходит последовательно на отдельных стадиях их производства. Конечные свойства готового продукта определяются как свойствами исходных сырьевых материалов, так и технологическими параметрами их переработки. Основные показатели свойств корундовых гранул приведены в табл. 1.

Грануляция глиноземополистирольных смесей обеспечивает получение как крупного пористого заполнителя фракций 5–10, 10–20 и 20–40 мм, так и пористого песка с зёрнами размерами 2,5–5,0 мм, причем содержание каждой фракции может колебаться в пределах от 0 до 80–100 %. Вместе с тем характер структуры и свойства засыпной теплоизоляции определяются также геометрией ее гранул. Наиболее плотная и прочная упаковка зёрен заполнителя получается из материала сферической формы. Для фракций мельче 5, 10–20 и 20–40 мм коэффициент формы гранул составляет соответственно 1,1–1,2, 1,06–1,08 и 1,15–1,17, т. е. форма гранул близка к сферической.

Важнейшими характеристиками корундовых гранул являются размер и форма пор, которые при применении выгорающих добавок определяются

\*1 Окончание. 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., часть 5 — в № 1 за 2018 г., часть 6 — в № 3 за 2018 г., часть 7 — в № 5 за 2018 г., часть 8 — в № 7 за 2018 г.



В. Н. Соков  
E-mail: sersok\_07@mail.ru

Таблица 1. Основные показатели физико-технических свойств легковесных корундовых гранул, полученных по предлагаемой технологии

Показатели	Гранулы	
	пористые	керамзитовые
Гранулометрический состав, мм	2,5–40,0	
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	600–1200	
Пористость, %	66,0–52,0	
Водопоглощение, %	25,0–50,0	13,0–27,0
Предел прочности при сжатии в цилиндре, МПа	1,5–6,7	1,7–7,0
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	0,28–0,44	
Термостойкость (1300 °C – вода), воздушные тепло-смены	12–34	
Дополнительная усадка при 1650 °C, %	0,3–0,4	

в основном размером и конфигурацией их зёрен. Использование в качестве порообразователя вспененного полистирола мелких фракций позволило получить материал с равномерно распределенными порами сферической формы диаметром 0,6–0,8 мм. Для полых гранул характерно присутствие одной центральной полости сферической формы диаметром от 3 до 16 мм. Результаты исследований пористости и связанного с ней водопоглощения гранул в зависимости от их средней плотности приведены в табл. 2.

Исследовали прочностные характеристики как отдельных фракций пористых гранул, так и смесей на их основе. Для изучения зависимости прочности при сжатии в цилиндре монофракционированного пористого заполнителя от насыпной плотности и температуры обжига использовали образцы, сформованные из смесей с различным содержанием пенополистирола, высушенные при 120 °C и обо-

Таблица 2. Пористость и водопоглощение корундовых гранул в зависимости от средней плотности

Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %			Водопоглощение, %, гранул	
насыпная	средняя	истинная	открытая		пористых	керамзитовых
			пористых гранул	керамзитовых гранул		
600	1220	66	63	35	51	28
800	1410	62	58	29	41	21
1000	1620	55	50	22	31	13
1200	1840	52	48	17	26	9

жженные при 1550, 1650 и 1730 °С с выдержкой при максимальной температуре 4 ч. Результаты испытаний представлены в табл. 3. Как видно из табл. 3, предел прочности при сжатии корундовых гранул тем больше, чем выше температура их обжига. На рис. 1 показана зависимость предела прочности при сжатии корундовых гранул от их насыпной плотности.

Прочностные характеристики смеси корундовых гранул будут зависеть не только от прочности единичных гранул, но и от плотности упаковки занимаемого ими объема. Влияние плотности засыпки на ее свойства изучали на примере смесей фракций 5–10 и 10–20 мм из пористых керамзитовых гранул. Результаты исследований показаны на рис. 2. Анализ данных показал, что для получения достаточно плотной и прочной упаковки гранул фракций 5–10 и 10–20 мм наиболее предпочтительно соотношение 1:1.

Основными факторами, воздействующими на эффективность засыпной теплоизоляции, являются гранулометрический состав, средняя плотность, степень уплотнения зернистого материала и температура испытаний. Для исследований использовали корундовые гранулы на основе электрокорунда с гранулометрией в диапазоне 3–20 мм и разной насыпной плотностью, а также смесь фракций 5–10 и 10–20 мм. Как видно из рис. 3, эффективная теплопроводность корундовых засыпок существенно зависит от гранулометрии исходных материалов. При низких температурах теплопроводность исследуемых систем мало отличается друг от друга и находится в пределах 0,22–0,26 Вт/(м·°С). Выше 300 °С характер температурной зависимости эффективной теплопроводности корундовых засыпок определяется в основном межзерновой пустотностью засыпки, тесно связанной с ее гранулометрией. Перенос теплоты при разных температурах осуществляется главным образом посредством лучистого теплообмена, доля которого с увеличением крупности гранул, а следовательно, и межзерновой пустотности возрастает. Зависимость теплопроводности от температуры становится близкой к экспоненциальной. Следовательно, для снижения теплопроводности засыпки следует уменьшать размер межзерновых пустот за счет снижения диаметра гранул либо создавать более плотные полидисперсные композиции.

Для этой цели была исследована смесь корундовых гранул фракций 5–10 и 10–20 мм с насыпной плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup>, взятых в равных соотношениях. Межзерновая пустотность такой смеси по

Таблица 3. Зависимость прочности корундового заполнителя от насыпной плотности и температуры обжига

Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии в цилиндре, МПа, образцов, обожженных при температуре, °С		
	1550	1650	1730
600	15	21	27
700	23	34	41
800	32	40	54
900	41	56	66
1000	54	65	77
1100	65	76	82
1200	72	78	85

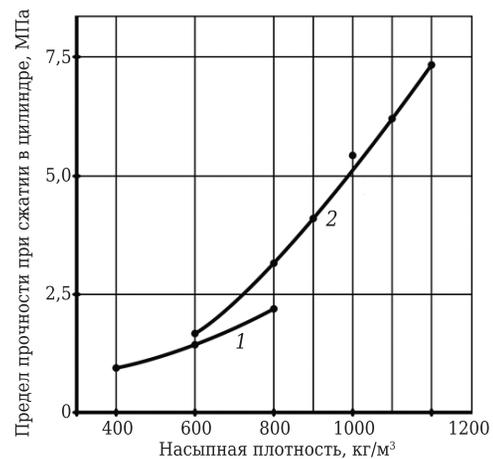


Рис. 1. Влияние насыпной плотности корундовых гранул на их прочность: 1 — гранулы на основе технического глинозема (полье); 2 — гранулы из смеси корунда и технического глинозема в соотношении 70:30. Температура обжига 1550 °С, выдержка при максимальной температуре 4 ч

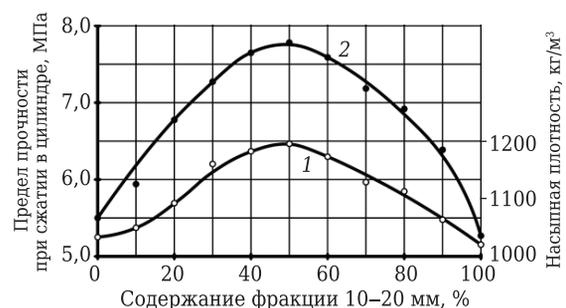
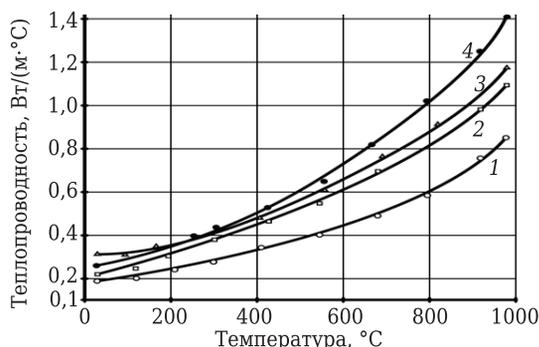
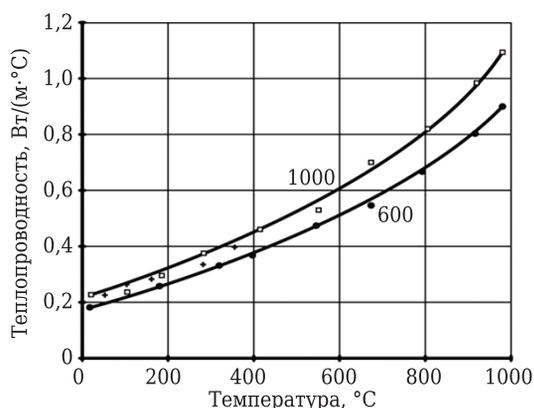


Рис. 2. Зависимости насыпной плотности (1) и предела прочности при сжатии (2) смеси фракций 5–10 и 10–20 мм от количества фракции 10–20 мм. Состав смеси, мас. %: электрокорунд 23,1, технический глинозем 9,9, пенополистирол 67,0

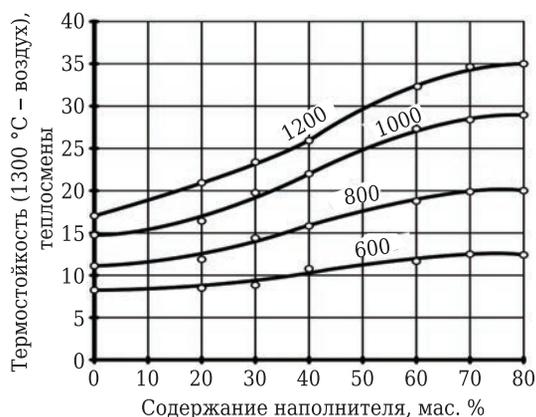
сравнению с пустотностью исходных компонентов уменьшилась на 12 %. Как видно на рис. 3, теплопроводность этой системы ниже 200 °С выше, чем у исходных компонентов, что закономерно, так как уменьшилась пустотность. Но в диапазоне 200–1000 °С



**Рис. 3.** Зависимость теплопроводности корундового заполнителя от температуры при разных крупности гранул и межзерновой пустотности: 1 — фракция 3–5 мм; 2 — 5–10 мм; 3 — 10–20 мм, межзерновая пустотность 37,0 %; 4 — смесь фракций 5–10 и 10–20 мм в соотношении 1:1, межзерновая пустотность 25,0 %. Насыпная плотность гранул 1000 кг/м<sup>3</sup>



**Рис. 4.** Зависимость теплопроводности корундового заполнителя от температуры при различной насыпной плотности гранул фракции 5–10 мм. Цифры на кривых — насыпная плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>



**Рис. 5.** Зависимость термостойкости поризованных корундовых гранул от содержания корундового наполнителя при различной насыпной плотности материала (указана на кривых, кг/м<sup>3</sup>). Температура обжига гранул 1550 °С, выдержка при максимальной температуре 4 ч

она становится меньше, чем у фракции 10–20 мм, и больше, чем у фракции 5–10 мм. Это объясняется тем, что, по-видимому, размер пор у рассматриваемой системы меньше, чем у фракции 10–20 мм, но больше, чем у фракции 5–10 мм, что полностью компенсирует влияние пустотности. Влияние насыпной плотности корундовых гранул, а следовательно, и их плотности зерен на теплопроводность при разных температурах показано на рис. 4. Установлено, что снижение насыпной плотности гранул от 1000 до 600 кг/м<sup>3</sup> при прочих равных условиях способствует уменьшению теплопроводности на 10–15 %.

Термостойкость корундовых гранул определяли по следующей методике. Из средней пробы заполнителя отбирали 30 целых гранул размерами 10–20 мм, не имеющих сколов и трещин. Предварительно высушенные при 110 °С и взвешенные с точностью до 0,01 г образцы помещали в муфельную печь, разогретую до 1300 °С, и выдерживали при этой температуре в течение 10 мин. Колебания температуры в процессе выдержки образцов не превышали 5,0 °С. После нагревания гранулы вынимали из печи, подвергали резкому охлаждению струей воздуха от вентилятора. Каждый нагрев с последующим охлаждением составлял одну теплосмену. После каждой теплосмены остывшие образцы осматривали, отмечали появление трещин и потери массы. Нагревание и охлаждение образцов повторяли до тех пор, пока их потеря массы не составила 20 %.

Исследовали влияние содержания электрокорунда и средней плотности гранул на их термостойкость. Результаты испытаний показаны на рис. 5. Введение в состав шихты корундового наполнителя крупностью 60 мкм повышает термостойкость гранул. Увеличение содержания крупных фракций способствует образованию вокруг зерен корунда локальной разрядки термических напряжений за счет увеличения подвижности структурных компонентов материала. При небольшом содержании наполнителя (до 25–30 %) изменение термостойкости не столь значительно, так как термические трещины имеют большую свободу распространения в материале. С уменьшением средней плотности образцов их термостойкость снижается, хотя поры и являются концентратом напряжений, но рост пористости уменьшает прочность образцов, оказывая решающее влияние на падение их термостойкости. Полые сферы обладают пониженными значениями прочности и термостойкости.

Опытные партии пористых корундовых гранул использовали для засыпной теплоизоляции металла в сталеразливочных ковшах на электрометаллургическом заводе «Электросталь», для слоя катализатора в топке газозвдушного калорифера для отопления газораспределительных пунктов, для засыпной теплоизоляции опытной модели пароводяного кипящего реактора. ■

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