

УДК 666.762

Т.Б. ГОНТАР, асистент, УИПА, Харьков,
С.М. ВИЛКОВ, канд. техн. наук, приват-проф., УИПА, Харьков,
О.Б. СКОРОДУМОВА, докт. техн. наук, проф., УИПА, Харьков

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ

У роботі досліджений вплив розміру гранул на структурно-механічні властивості екзотермічної суміші, призначеної для гарячого ремонту вогнетривких футерівок теплових агрегатів. Виконано оптимізацію отриманих результатів за допомогою симплекс-гратчастого методу й уточнений оптимальний інтервал дисперсності гранульованої екзотермічної суміші (1,0 – 0 мм), що може бути отриманий без відсівання тонкої фракції 0,2 – 0 мм.

В работе исследованное влияние размера гранул на структурно механические свойства экзотермической смеси, предназначенной для горячего ремонта огнеупорных футеровок тепловых агрегатов. Выполнена оптимизация полученных результатов с помощью симплекс-решетчатого метода и уточнен оптимальный интервал дисперсности гранулированной экзотермической смеси (1,0 – 0 мм), которая может быть получена без отсева тонкой фракции 0,2 – 0 мм

It has been investigated the influence of the size of granules on structural-mechanical properties of exothermic mixture intended for hot repairs of refractory lining of heat units. Optimization is done of the results obtained with the help of the simplex-lattice method, and it is specified the optimal interval dispersion of granulated exothermic mixture (1,0 – 0 mm), which can be achieved without the elimination of fine fraction 0,2 – 0 mm.

Для горячего ремонта огнеупорных футеровок целесообразно использование гранулированных порошков экзотермических смесей [1 – 3].

Предварительное гранулирование наносимой экзотермической смеси необходимо не только для предотвращения уноса мелкозернистого порошка металла, но и для более полного поверхностного оплавления огнеупорного компонента смеси и его эффективного припекания к огнеупорной футеровке.

Для осуществления самораспространяющегося высокотемпературного синтеза имеет значение процесс подачи экзотермических смесей к ремонтируемой футеровке теплового агрегата, а именно достаточная текучесть порошка наносимого материала. Текучесть порошков обеспечивает стабильную подачу в распылитель и возможность точной регулировки расхода экзотермических смесей, является сложной комплексной характеристикой, завися-

щей от насыпной плотности, гранулометрического состава, формы и состояния поверхности частиц.

Целью данных исследований являлась разработка оптимального гранулометрического состава экзотермических смесей.

Материалы и методики исследований. Для исследований использовали экзотермические смеси, имеющие размеры гранул: 3,0 – 2,0 мм; 2,0 – 1,0 мм; 1,0 – 0,5 мм; 0,5 – 0,2 мм; 0,2 – 0,1 мм.

В качестве огнеупорного компонента использовали бой динасового кирпича (ГОСТ 4157-79). Горючий компонент – алюминиевую пудру (ГОСТ 5494-95), наносили на огнеупорный наполнитель при помощи связующего – жидкого стекла.

Для среднего гранулометрического состава каждой фракции экзотермической смеси определяли насыпную плотность, время истечения, углы внутреннего и внешнего трения.

Методика определения угла естественного откоса заключалась в следующем. Воронку опускали до касания с плоской металлической пластиной, заполняли ее порошком, а затем медленно поднимали над пластиной. Угол между образующей полученного конуса и основанием определяли с помощью транспортира.

Угол внешнего трения определяли по углу наклона плоской металлической пластины, при котором происходит ссыпание примерно 90 % навески порошка.

Для определения угла внутреннего трения готовили закрепленный клеем монослой испытуемого порошка определенной фракции на плоской металлической поверхности. Угол наклона, при котором происходит ссыпание порошка той же фракции, принимали за угол внутреннего трения.

Экспериментальная часть. Зависимость насыпной плотности от среднего размера гранул экзотермической смеси представлена в таблице и на рис. 1.

Изменение среднего размера гранул в интервале 0,05 – 0,75 мм приводило к резкому повышению насыпной плотности порошка. При дальнейшем увеличении размера гранул (выше 0,75 мм) насыпная плотность практически не изменялась. Исследовали зависимость времени истечения экзотермической гранулированной смеси из градуированных воронок диаметром 12 мм, отвечающих размерам наиболее часто используемых сопел в системах подачи торкрет-установок (таблица, рис. 2).

Свойства фракционированного порошка

Свойства	Размер гранул, мм					
	3,0 – 2,0	2,0 – 1,0	1 – 0,5	0,5 – 0,2	0,2 – 0,1	0,1 – 0
Насыпная плотность, г/см ³	1,240	1,203	1,163	0,935	0,663	0,614
Время истечения порошка, с	31,5	25,7	19,6	18,4	23,2	–
Угол естественного откоса, град	36,25	35	33	32	34	–
Угол внутреннего трения, град	47,5	42	39	42	45	–
Угол внешнего трения, град	30	24,5	28	28	35	–

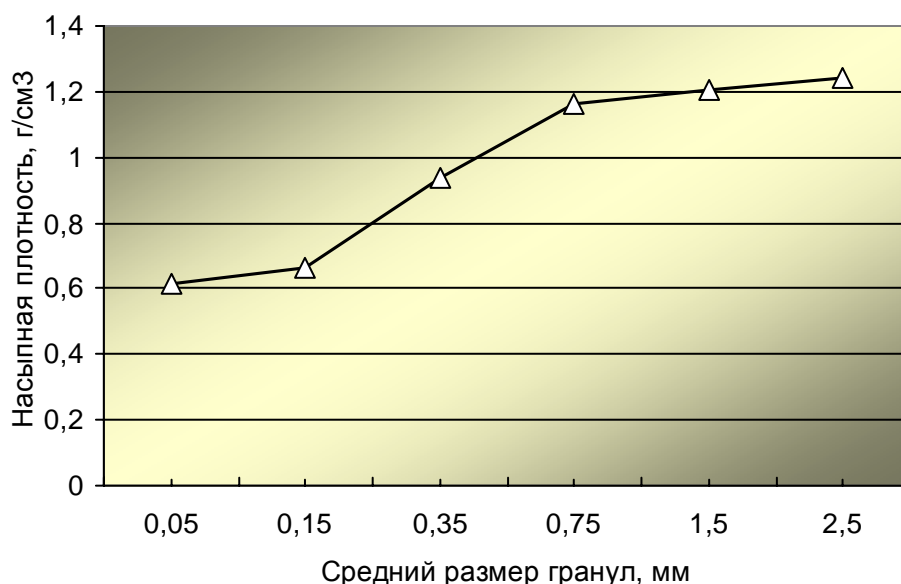


Рис. 1. Зависимость насыпной плотности от среднего размера гранул

Как видно из рисунка, минимальным временем истечения обладают экзотермические смеси, имеющие средний размер гранул 0,35 – 0,75 мм, что соответствует фракциям 0,5 – 0,2 и 1,0 – 0,5 (табл.) и, по-видимому, связано с меньшим внутренним трением между частицами.

Успешное нанесение экзотермических гранулированных смесей на ремонтируемую футеровку зависит от их текучести.

При длительном хранении часто имеет место агрегирование частиц, приводящее к комкованию и слеживанию порошков, что ограничивает применение экзотермических смесей. Критериями оценки текучести порошков служат такие показатели как угол естественного откоса и угол внутреннего трения.

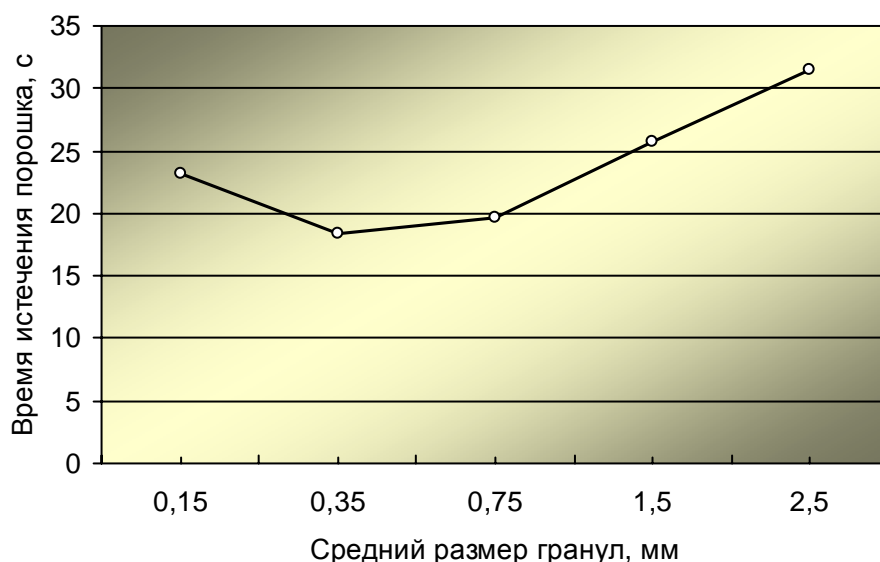


Рис. 2. Зависимость времени истечения экзотермической смеси от среднего размера гранул

Зависимость угла естественного откоса от среднего размера гранул экзотермической смеси различных фракций представлена в таблице и на рис. 3.

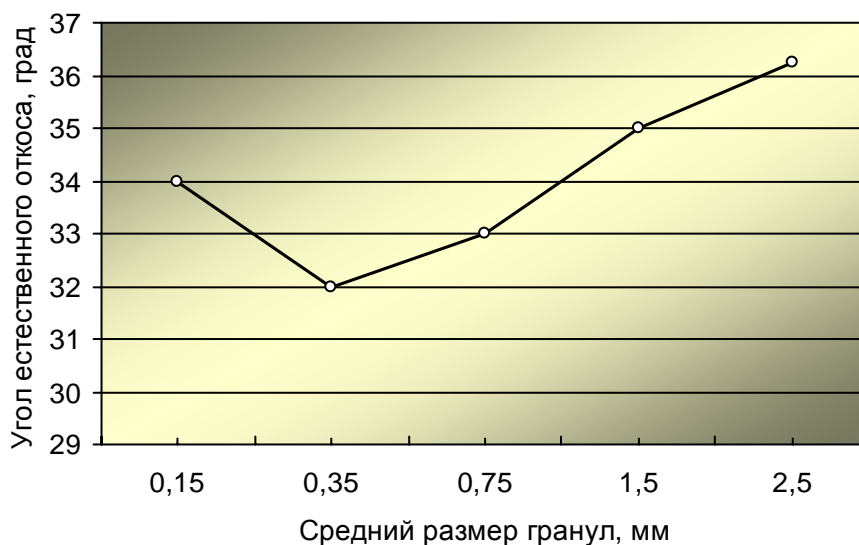


Рис. 3. Зависимость угла естественного откоса от среднего размера гранул

Из рисунка видно, что зона оптимума находится в интервале дисперсности гранул 0,35 – 0,75 мм.

Определяли углы внутреннего и внешнего трения в порошках исследуемых фракций. Угол внутреннего трения наиболее полно характеризует значение сил сцепления между частицами порошка.

Зависимость углов внешнего и внутреннего трения от дисперсности гранул представлена в таблице и на рис. 4.

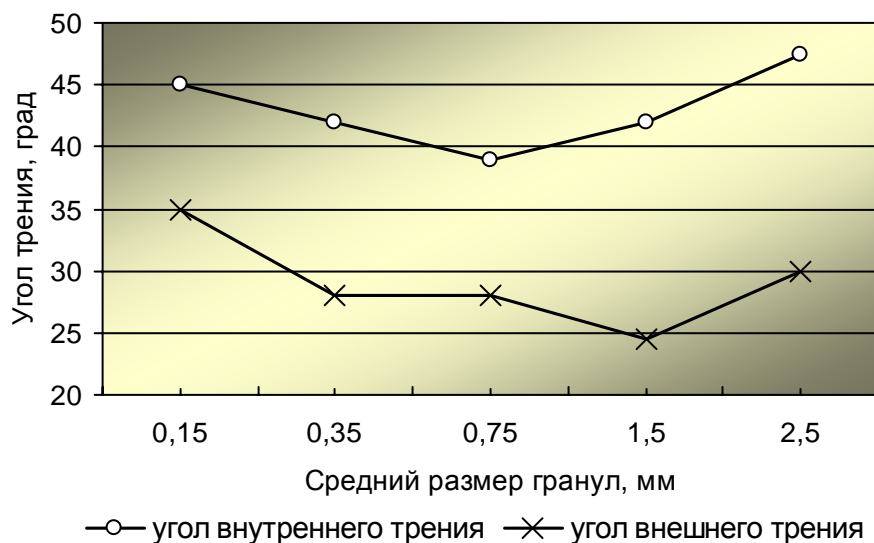


Рис. 4. Зависимость угла внутреннего и внешнего трения от среднего размера гранул

Минимальным углом внутреннего трения характеризовалась фракция 1,0 – 0,5 мм. Угол внутреннего трения был выше, чем угол внешнего трения, так как часть материала не скользила, а перекатывалась по поверхности, образованной закрепленным слоем экзотермической смеси.

Совместный анализ приведенных графиков позволил выявить, что оптимальный гранулометрический состав экзотермической смеси находится в диапазоне 0,2 – 1,0 мм. Недостатком предложенного состава является необходимость дополнительной технологической операции по отсеvu фракций размером менее 0,2 мм.

Для устранения полученного недостатка применили симплекс – решетчатое планирование эксперимента для установления допустимого содержания в экзотермических смесях частиц с размером зерен ниже 0,2 мм, для чего составляли матрицу планирования эксперимента по изучению времени истечения порошка из воронки и определяли дисперсию воспроизводимости.

Вычислены коэффициенты регрессии, получена модель кубической степени приближения. Полученная модель проверена на адекватность. Для контрольных точек определены экспериментальные и расчетные значения времени истечения. Контрольные точки определялись в областях с максимальным, минимальным и средним временем истечения. Экспериментальные и расчетные данные совпали, что говорит об адекватности полученной мате-

матической модели.

С помощью полученной модели было рассчитано время истечения экзотермической смеси с размером частиц 1 – 0 мм с различным объемным содержанием фракций 1 – 0,5; 0,5 – 0,2 и 0,2 – 0 мм. Оптимальным временем истечения является скорость: от 18,3 до 19,1 с.

Аналогичным способом для экзотермической смеси фракция 1,0 – 0 мм с различным объемным содержанием фракций: 1 – 0,5, 0,5 – 0,2 и 0,2 – 0 мм построены адекватные математические модели для определения углов внутреннего (1) и внешнего (2) трения:

$$y = 42,33x_1 + 39,83x_2 + 41,66x_3 + 25,13x_1x_2 + 23,265x_1x_3 + 7,875x_2x_3 - 8,103x_1x_2(x_1-x_2) - 12,87x_1x_3(x_1-x_3) - 7,155x_2x_3(x_2-x_3) - 95,197x_1x_2x_3 \quad (1)$$

$$y = 34,66x_1 + 30,33x_2 + 26,66x_3 + 7,515x_1x_2 + 6,77x_1x_3 + 3,758x_2x_3 - 7,52x_1x_2(x_1-x_2) - 2,27x_1x_3(x_1-x_3) + 5,24x_2x_3(x_2-x_3) - 41,78x_1x_2x_3 \quad (2).$$

С помощью полученных моделей рассчитаны углы внешнего и внутреннего трения экзотермических смесей с размером частиц 1,0 – 0 мм с различным объемным содержанием фракций 1 – 0,5, 0,5 – 0,2 и 0,2 – 0 мм.

Для области составов с наибольшим временем истечения углы внутреннего трения составляют $40 - 42^{\circ}39''$, а углы внешнего трения – $27 - 29^{\circ}$.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить область гранулометрических составов экзотермической смеси, характеризующихся оптимальной текучестью.

Выполненная оптимизация с помощью симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента позволила установить допустимость содержания в экзотермической смеси гранул размером $< 0,2$ мм в количестве до 25 – 27 мас. %, что позволяет не отсеивать тонкую фракцию при приготовлении разработанной экзотермической смеси.

Список литературы: 1. Мержанов А.Г. Твердопламенное горение / А.Г. Мержанов. – Черноголовка: ИСМАН, 2000. – 224 с. 2. Владимиров В.С. Использование для металлургических и литейных производств новых огнеупорных СВС-материалов и покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами / В.С. Владимиров, А.П. Галаган, И.А. Карпунин // Автоматизированные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии: 2-я междунар. науч.-практ. конф.: тезисы докл. – М: МИСИ, 2002. – С. 570 – 574. 3. А.с. 494374 SU, МПК С04В35/68/53. Экзотермический огнеупорный мертель / Дябин В.В., Неволин В.М., Заборовский В.М., Крутский Ю.Л. – № 96110828/03; заявл. 29.05.96, опубл. 27.02.01. Бюл. № 70.