

УДК 621.762.08+661.666.231.017

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

© 2013 Д.М. Караваев, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев, К.В. Трошков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

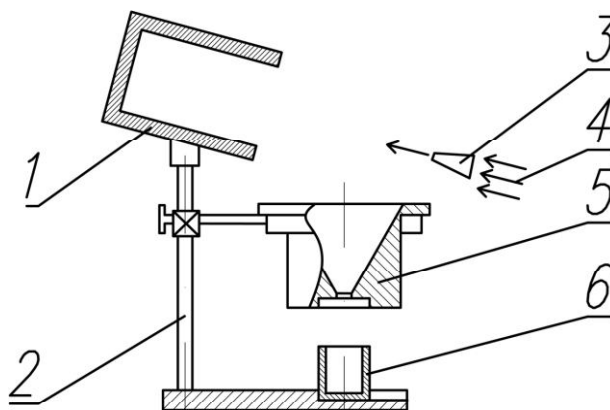
Поступила в редакцию 09.03.2013

Измерена насыпная плотность терморасширенного графита (ТРГ) пуха и измельченных отходов производства уплотнений из ТРГ. Предложен метод измерения насыпной плотности ТРГ-пуха. Разработана методика измельчения ТРГ в две стадии.

**Ключевые слова:** терморасширенный графит, технологические характеристики, насыпная плотность, измельчение, отходы производства

Насыпная плотность порошка есть масса единицы его объема при свободной насыпке [1]. Эта характеристика определяется плотностью материала порошка, размером (формой) его частиц, плотностью укладки частиц и состоянием их поверхности [1]. Насыпная плотность – одно из важных технологических свойств порошковых материалов, от которого зависит высота матрицы пресс-формы и сам процесс прессования. Терморасширенный графит-пух (ТРГ-пух) занимает значительный объем в пространстве, легок, воздушен, так как это высокопористая система с очень сложной организацией структуры [2, 3]. ТРГ-пух имеет насыпную плотность 1-4 кг/м<sup>3</sup> и удельную поверхность 30-80 г/м<sup>2</sup> в зависимости от морфологических особенностей исходного графита [4]. ГОСТ Р 50019.1-92 [5] устанавливает метод определения насыпной плотности графита, но определение насыпной плотности ТРГ по этой методике невозможно, т.к. длинные «червячки» ТРГ конгломерируются, зацепляются друг за друга при насыпке на конус воронки и не протекают через отверстие воронки Ø20 мм. Авторы статьи разработали конструкцию устройства (рис. 1) и предложили насыпать ТРГ на конус воронки 5 перемещая частицы во взвешенном состоянии. ТРГ-пух приводили во взвешенное состояние направленным соплом 3 потоком пульсирующего воздуха. Частоту пульсации устанавливали из расчета, чтобы порция ТРГ под действием силы тяжести опустилась на конус воронки и прошла через нее

до появления следующей порции. Отработку методики определения насыпной плотности проводили, используя ТРГ с содержанием массовой доли углерода 98,0±0,3%, золы 1,0±0,3%, массовой доли хлорид-ионов ≤50 ppm и массовой доли серы общей ≤ 1000 ppm. Результаты измерения насыпной плотности ТРГ по предложенному методу приведены в табл. 1.



**Рис. 1.** Прибор для определения насыпной плотности: 1 – контейнер; 2 – штатив; 3 – сопло; 4 – поток воздуха; 5 – воронка; 6 – цилиндр мерный

**Таблица 1.** Результаты статистической обработки измерения насыпной плотности ТРГ

Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>				$S_n$	$W_n$	$S_{n\bar{x}}$	$\Delta x$ ( $\alpha=0,95$ )
1	2	3	$\bar{x}$				
3,1	3,0	3,2	3,1	0,082	2,63	0,047	0,2

В табл. 1 и 2 приведены следующие обозначения:  $\bar{x}$  - среднее значение;  $S_n$  – средняя квадратичная ошибка одиночного результата при  $n$  измерениях;  $W_n$  – коэффициент вариации;  $S_{n\bar{x}}$  - средняя квадратичная ошибка среднего

Караваев Дмитрий Михайлович, ассистент. E-mail: ktmst@ya.ru

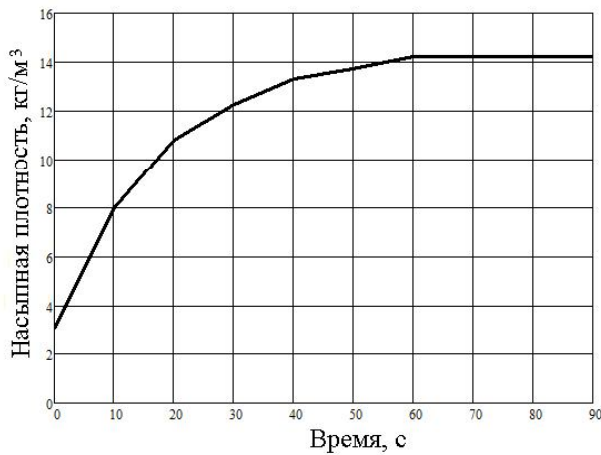
Макарова Луиза Евгеньевна, ведущий инженер. E-mail: l.e.makarova@ya.ru

Дегтярев Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор. E-mail: a.i.degtjarev@ya.ru

Трошков Константин Викторович, магистрант. E-mail: kostya.troshkov@mail.ru

арифметического;  $\Delta x$  - доверительный интервал среднего арифметического;  $\alpha$  - доверительная вероятность.

Измельчение исходного ТРГ-пуха с насыпной плотностью  $3,1 \pm 0,2 \text{ кг/м}^3$  проводили в две стадии. На I стадии измельчение проводили гладкими спиралеобразными измельчителями, вращающимися со скоростью 720 об/мин. После измельчения I стадии насыпная плотность ТРГ-пуха увеличивается более чем в 4 раза и равна  $14,2 \pm 0,3 \text{ кг/м}^3$ . Измельчение проводили циклами: включали устройство на 10 с, а потом останавливали и измеряли насыпную плотность порошка ТРГ. Замечено, что после измельчения ТРГ в течение 1 мин. дальнейшего роста насыпной плотности не происходит. На рис. 2 показан график изменения насыпной плотности в зависимости от времени измельчения.

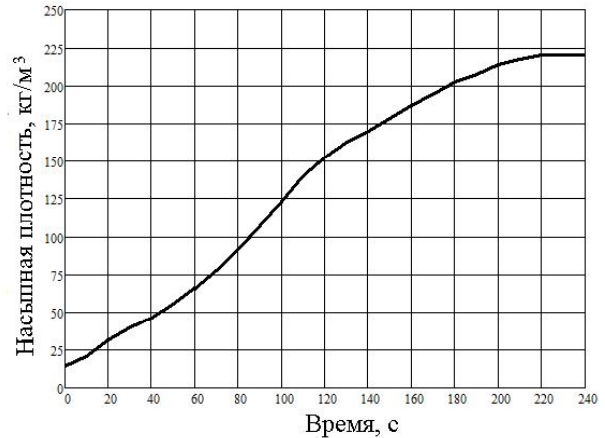


**Рис. 2.** График изменения насыпной плотности ТРГ в зависимости от времени измельчения на I стадии

На II стадии измельчение ТРГ-пуха проводили двумя двойными лезвиями, вращающимися на одной оси со скоростью 1400 об/мин. Двойные лезвия образуют четыре режущие поверхности, что увеличивает скорость измельчения. Измельчение так же проводили циклами, запуская устройство на 10 с, а потом останавливая и измеряя насыпную плотность порошка ТРГ. После 220 с. циклического измельчения на описанном выше оборудовании дальнейшего увеличения насыпной плотности не происходит (рис. 3.). Максимальная насыпная плотность ТРГ после измельчения проводимого в две стадии равна  $220 \pm 3 \text{ кг/м}^3$ .

В дальнейшем из ТРГ-пуха как измельченного, так и неизмельченного изготавливают методом прокатки без добавления связующего неармированные уплотнительные материалы [4]. А уже измельченные отходы производства неармированных уплотнительных материалов из ТРГ (ТРГ-отходы) и, например, модифицированную силиконовую смолу используют для

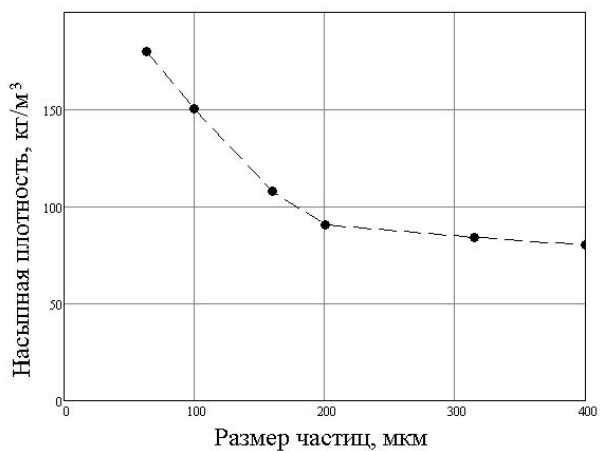
производства композиционных материалов [6-8]. В работе [9] методом ситового анализа был определен гранулометрический состав порошка ТРГ-отходов, на рис. 4 представлен график распределения размера частиц. По ГОСТ Р 50019.1-92 [5] была определена насыпная плотность порошка ТРГ-отходов, результаты представлены в виде таблицы (табл. 2) и в графическом виде (рис. 5).



**Рис. 3.** График изменения насыпной плотности в зависимости от времени измельчения на II стадии



**Рис. 4.** Распределение размеров частиц порошка ТРГ-отходы



**Рис. 5.** Зависимость насыпной плотности от размера частиц измельченных отходов производства уплотнений из ТРГ

**Таблица 2.** Данные статистической обработки измерения насыпной плотности порошка ТРГ-отходов

Фракция порошка, мкм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>				S <sub>n</sub>	W <sub>n</sub>	S <sub>n<math>\bar{x}</math></sub>	$\Delta x$ ( $\alpha=0,95$ )
	1	2	3	$\bar{x}$				
-400+315	80,7	80,4	80,7	80,6	0,15	0,18	0,08	0,4
-315+200	84,5	84,5	84,2	84,4	0,15	0,17	0,08	0,4
-200+160	90,3	90,6	91,1	90,7	0,39	0,43	0,22	1,0
-160+100	109,2	108,4	107,6	108,4	0,79	0,73	0,46	2,0
-100+063	150,3	149,5	151,9	150,6	1,21	0,80	0,70	3,0
-063	182,0	178,0	179,6	179,9	1,99	1,11	1,15	4,9

**Выводы:** с увеличением насыпной плотности в 2 и более раз улучшается текучесть порошка. Установлено, что измельчение ТРГ необходимо проводить в две стадии. На I стадии измельчения при использовании измельчителя с гладкой поверхностью длина червячков ТРГ уменьшается за счет их излома в перенапряженных, дефектных местах. На II стадии измельчение проводится ножами, имеющими режущие кромки, и используется в 2-3 раза большая скорость их вращения. Провести измельчение на II стадии без предварительного измельчения на I стадии не возможно. С уменьшением размера частиц ТРГ увеличивается насыпная плотность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. – М.: Металлургия, 1987. 792 с.
2. Ханов, А.М. Особенности строения и использования терморасширенного графита / А.М. Ханов, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев и др. // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2012. Т. 14, № 1. С. 92-106.
3. Ханов, А.М. Особенности строения терморасширенного графита / А.М. Ханов, Л.Е. Макарова, А.И. Дегтярев и др. // Известия Самарского научного

4. Белова, М.Ю. От черного мела к уплотнениям из ТРГ // Арматуростроение. 2008. № 1 (52). С. 36-43.
5. ГОСТ Р 50019.1-92 Графит. Метод определения насыпной плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1992. 4 с.
6. Смирнов, Д.В. SEALUR-500 – новый уплотнительный материал для шаровой арматуры / Д.В. Смирнов, О.Ю. Исаев, В.П. Лепихин // Арматуростроение. 2011. №1 (70). С. 56-57.
7. Караваяев, Д.М. Механические свойства композиционного материала на основе терморасширенного графита / Д.М. Караваяев, А.М. Ханов, А.И. Дегтярев и др. // Известия Самарского научного Центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 1(2). С. 562-564.
8. Караваяев, Д.М. Анизотропия механических свойств композиционного материала на основе терморасширенного графита / Д.М. Караваяев, А.М. Ханов, А.И. Дегтярев и др. // Известия Самарского научного Центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 4(5). С. 1243-1245.
9. Кичигина, К.А. Исследование механических характеристик фракций композиционного материала на основе терморасширенного графита и их взаимосвязь с фрактальной размерностью / К.А. Кичигина, А.И. Дегтярев, Д.М. Караваяев // Журнал магистров. 2012. №2. С. 9-14.

## DETERMINATION THE BULK DENSITY OF THERMOEXPANDED GRAPHITE

© 2013 D.M. Karavayev, L.E. Makarova, A.I. Degtyaryov, K.V. Troshkov

Perm National Research Polytechnical University

The bulk density of thermoexpanded graphite (TEG) fluff and the crushed production wastes of consolidations from TEG is measured. The method of measurement the bulk density of TEG-fluff is offered. The technique of crushing the TEG in two stages is developed.

Key words: *thermoexpanded graphite, technical characteristics, bulk density, crushing, production wastes*

Dmitriy Karavaev, Assistant. E-mail: kmcm@ya.ru  
 Luiza Makarova, Leading Engineer. E-mail: l.e.makarova@ya.ru  
 Alexander Degtyaryov, Candidate of Technical Sciences, Professor.  
 E-mail: a.i.degtarev@ya.ru  
 Konstantin Troshkov, Undergraduate Student. E-mail:  
 kostya.troshkov@mail.ru