

УДК: 620.22-419-032.36:620.181.4

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

© 2011 Д.М. Караваев¹, А.М. Ханов¹, А.И. Дегтярев¹, Л.Е. Макарова¹,
Д.В. Смирнов², О.Ю. Исаев²

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет
² ООО «Силур»

Поступила в редакцию 13.03.2012

Разработан метод определения механических характеристик при сжатии композиционных материалов на основе терморасширенного графита в диапазоне рабочих температур. Сконструирована и изготовлена оснастка для проведения испытаний при повышенных температурах. Проведены механические испытания при температуре 20 и 400°C.

Ключевые слова: композиционные материалы, терморасширенный графит, механические испытания

Задача разработки новых материалов для изготовления шаровых кранов, повышающих эффективность оборудования для нефте- и газопереработки с высокими температурными параметрами (300 - 400°C) [1] является актуальной для современного арматуростроения. Авторы разработали композиционный материал, состоящий из двух компонентов – терморасширенного графита (далее ТРГ) и модифицированной силиконовой смолы. Этот материал обладает упругостью, большей прочностью на сжатие по сравнению с ТРГ и хорошо обрабатывается резанием.

При создании нового материала авторы находили оптимальное соотношение ТРГ и связующего – модифицированной силиконовой смолы. Задача оптимизации, в которой сумма компонентов смеси должна быть равна 100%, часто встречается в производстве пищи, очистке или производстве химикатов или лекарств. Обычно [2] используются два типа стандартных планов экспериментов для смесей: симплекс-вершинный и симплекс-центроидный. В общем случае, когда смесь состоит из q компонентов, используют область (или симплекс) в $q-1$ мерном пространстве.

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

Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор. E-mail: ttf@pstu.ru

Дегтярев Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор

Макарова Луиза Евгеньевна, ведущий инженер. E-mail: ktct@ya.ru

Смирнов Дмитрий Вениаминович, заместитель генерального директора. E-mail: smirnov@sealur.ru

Исаев Олег Юрьевич, генеральный директор. E-mail: isaev@sealur.ru

Симплекс-вершинным называется план, получающийся при размещении точек $m+1$ (где m – степень полинома), где для каждого фактора или компоненты в модели тестируются равно-размещенные точки: x_i 0, $1/m$, $2/m$, ..., 1 $i=1, 2, \dots, q$, а также все их комбинации. Симплекс-вершинный план с $\{q=2, m=2\}$ включает следующие смеси (таблица 1). Подобные планы иногда дополняются внутренними точками (таблица 2).

Таблица 1. Матрица планирования

ТРГ (А)	Связующее (В)
1	0
0	1
0,5	0,5

Таблица 2. Дополнительные внутренние точки матрицы планирования

ТРГ (А)	Связующее (В)
0,75	0,25
0,25	0,75

В этом плане требуются точки-вершины, то есть чистые смеси, состоящие из одной компоненты. Такие точки неприемлемы, т.к. эти материалы не будут композиционными и соответственно не будут обладать требуемыми свойствами. Наложим на области ограничения для компонентов смеси: $0,5 \leq A \leq 0,9$ и $0,1 \leq B \leq 0,5$. Для нахождения вершин и центроид в областях с ограничениями воспользуемся алгоритмом, предложенным Пипелем и Сни [3, 4] и представим преобразованную матрицу планирования (таблица 3).

Таблица 3. Преобразованная матрица планирования

ТРГ (А)	Связующее (В)
0,9	0,1
0,5	0,5
0,7	0,3
0,8	0,2
0,6	0,4

Механические испытания композиционного материала проводили на модернизированной установке с тестовыми образцами в форме прямоугольной призмы по методике подробнее изложенной в [5]. Для проведения испытаний использовали разрывную машину модели Р-0,5. В связи с тем, что в данной машине не предусмотрено проведение испытаний при требуемой температуре, авторы для адаптации установки к условиям испытаний, визуализации и обработки данных на ЭВМ провели следующие работы:

- установили в реверсор (рис. 1.) нагревательный элемент 8;
- модернизировали реверсор путем добавления штока 2, опорной площадки 6 и направляющей 4 штока 2 для стабилизации передачи внешнего усилия на тестовый образец;
- ввели в установку высокочувствительный тензометрический датчик силы (на рис. 1 не показан) для регистрации усилия вызывающего деформацию образца;
- ввели высокочувствительный лазерный датчик перемещения 9 для регистрации величины деформации образца.

Принципиальная схема модернизированного реверсора приведена на рис. 1.

Каждый эксперимент повторяется по 5 раз. Чтобы исключить влияние случайных ошибок, вызванных внешними условиями (переменной температуры, качеством сырья, квалификацией лаборанта и т. д.), рандомизировали опыты во времени, т.е. очередность их проведения выбирали случайным образом. Из анализа поведения материалов при сжатии (рис. 2) видно, что характер зависимости «напряжение-деформация» свойственен для хрупких материалов: на кривой имеется прямолинейный участок, соответствующий упругой деформации, участок, где наблюдается некоторое отклонение от закона Гука, предел текучести, после которого происходит разрушение.

При содержании модифицированной силиконовой смолы от 10 до 40 мас.% образцы разрушаются хрупко (рис. 4), причем наклонные трещины направлены к оси образца под углом примерно 45°, т.е. параллельно площадкам, в которых действуют наибольшие касательные напряжения.

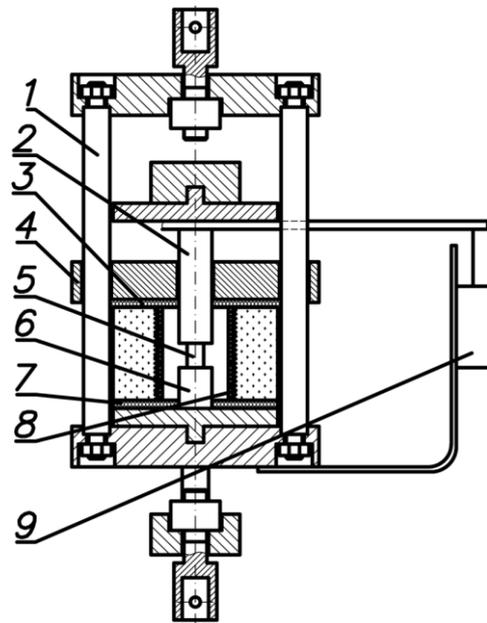


Рис. 1. Модернизированный реверсор: 1 – реверсор; 2 – шток; 3 и 7 – термоизоляционные пластины; 4 – направляющая; 5 – тестовый образец; 6 – площадка; 8 – нагревательный элемент; 9 – лазерный датчик перемещения

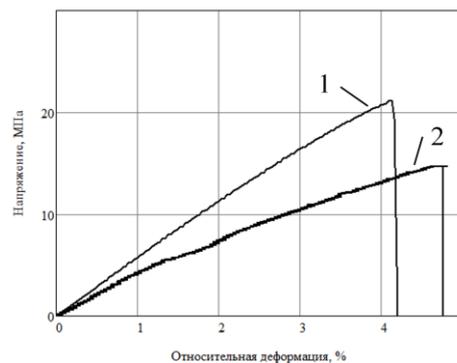


Рис. 2. Типичная кривая «напряжение-деформация» для композиционного материала на основе ТРГ при температуре: 1 – 20°C; 2 – 400°C

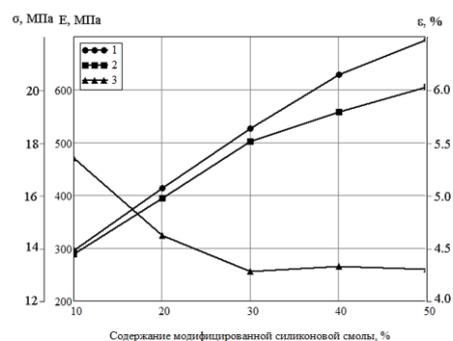


Рис. 3. Влияние процентного содержания модифицированной силиконовой смолы на значение модуля упругости (1), предела прочности при сжатии (2) и относительной деформации (3) образцов из композиционного материала на основе ТРГ

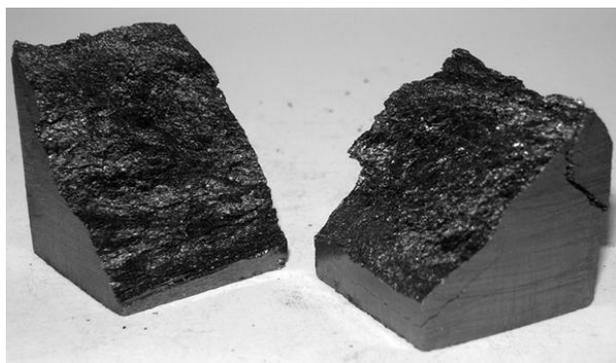


Рис. 4. Характер разрушения образцов из композиционного материала на основе ТРГ модифицированной силиконовой смол 40 мас.%

Выводы: проведенные эксперименты показали, что уплотнения из предложенного композиционного материала являются трансверсально-изотропными. Деформация образцов при разрушении в направлении, когда чешуйки ТРГ перпендикулярны оси сжатия, в 3-4 раза больше, чем когда чешуйки расположены параллельно оси сжатия. Наибольшее среднее значение предела прочности при сжатии $20,6 \pm 0,7$ МПа наблюдалось у образцов из композиционного материала на основе ТРГ с содержанием модифицированной силиконовой смолы 40 мас.%, когда чешуйки ТРГ перпендикулярны оси сжатия при температуре испытания 20°C , модуль упругости – $549,3 \pm 12,8$

МПа. При температуре испытания 400°C предел прочности при сжатии этого образца составил $14,5 \pm 3,5$ МПа. Полученные результаты указывают на перспективность проведения дальнейших исследований в данном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трубопроводная аппаратура: опыт и перспективы (интервью с А.Н. Мышонковым) // Газовая промышленность. 2011. № 5. С. 96.
2. Кузнецова, Ю.Г. Разработка методов исследования функционально-технологических свойств пищевых рецептурных смесей на основе теории нечетких множеств: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18: - М., 2005. 180 с.
3. Piepel, G.F. Programs for generating extreme vertices and centroids of linearly constrained experimental regions // Journal of Quality Technology. 1988, №20. P. 125-139.
4. Snee, R.D. Experimental designs for mixture systems with multi-component constraints. – Communications in Statistics – Theory and Methods. 1979. A8(4). P. 303-326.
5. Караваяев, Д.М. Разработка методики определения механических характеристик при сжатии композиционных материалов на основе терморасширенного графита в диапазоне рабочих температур / Д.М. Караваяев, Е.С. Русин // Молодые ученые Прикамья - 2011: материалы I междунар. науч.-практ. конф., г. Пермь, 26 мая 2011 г. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2011. С. 209-211.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIAL ON THE BASIS OF THERMOEXPANDED GRAPHITE

© 2011 D.M. Karavaev¹, A.M. Khanov¹, A.I. Degtyarev¹, L.E. Makarova¹,
D.V. Smirnov², O.Yu. Isaev²

¹ Perm National Research Polytechnical University
² JSC “Sealur”

The method of definition the mechanical properties at compression the composites on the basis of thermoexpanded graphite in a range of operating temperatures is developed. The equipment for carrying out of tests at high temperatures was designed and made. Mechanical tests are spent at temperature of 20°C and 400°C .

Key words: *composites, thermoexpanded graphite, mechanical tests*

Dmitriy Karavaev, Assistant. E-mail: kmcm@ya.ru

Almaz Khanov, Doctor of Technical Sciences, Professor.

E-mail: mtf@pstu.ru

Alexander Degtyarev, Candidate of Technical Sciences, Professor

Luiza Makarova, Leading Engineer. E-mail: kmcm@ya.ru

Dmitriy Smirnov, Deputy General Director. E-mail:

smirnov@sealur.ru

Oleg Isaev, General Director. E-mail: isaev@sealur.ru