

Теплофизические свойства синтактных пенопластов на основе полидиметилсилоксанового связующего

В.Ю. ЧУХЛАНОВ, О.Г. СЕЛИВАНОВ

ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых", Владимир, Россия
vladsilan@mail.ru

В представленной работе исследованы теплофизические свойства синтактных пенопластов на основе кремнийорганического связующего полидиметилсилоксана. В качестве наполнителя использованы полые стеклянные микросферы. Установлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости и коэффициента линейного теплового расширения синтактных пенопластов.

Ключевые слова: синтактные пенопласты, кремнийорганическое связующее, теплопроводность, теплоемкость, полые микросферы.

In the submitted paper the thermal properties of syntactic foams based on polydimethylsiloxane silicone binder. As fillers used in A hollow glass microspheres. The temperature dependence of the thermal conductivity, heat capacity, and coefficient of linear thermal expansion syntactic foams.

Keywords: syntactic foams, silicone binder, thermal conductivity, heat capacity, hollow microspheres.

В настоящее время во всех индустриально развитых странах широкое распространение находят сферопластики. Одной из разновидностей сферопластиков являются синтактные пенопласты [СП], представляющие собой композиционные материалы, где полые микросферы скреплены полимерным связующим [1, 2]. Благодаря наличию газовой фазы, они характеризуются пониженным коэффициентом теплопроводности и занимают значительное место при разработке новых теплоизоляционных конструктивных материалов. Наличие пустотелых частиц обеспечивают им малую плотность, повышенную прочность, пониженный коэффициент теплового расширения. Выбор связующего также во многом определяет физико-механические и теплофизические свойства синтактных пенопластов. В настоящее время большое внимание уделяется кремнийорганическим связующим, в том числе с концевыми гидроксильными группами, в связи с их высокой термической устойчивостью и экологической безопасностью и возможностью сшивки при комнатных температурах [3].

В ранее опубликованных работах [4, 5] рассматривались физико-механические свойства СП на основе кремнийорганического связующего полидиметилсилоксана (ПДМС) и полых стеклосфер. Целью представленной работы является исследование теплофизических характеристик разработанных синтактных пенопластов.

В качестве связующего в работе был использован низкомолекулярный диметилсилоксановый каучук марки СКТН-А, представляющий собой кремнийорганический олигомер с концевыми гидроксильными группами, нетоксичный, который отличается стабильностью характеристик в широком интервале температур (от -60°C до 300°C), при этом связь Si-O в ПДМС имеет большую свободу движений и достаточную прочность (117 ккал/моль). Отверждение олигомера осуществлялось катализатором К-18, представляющим смесь диэтилдикаприлата олова и тетраэтоксисилана. Образцы СП с содержанием связующего до 50% (объемных) получали путем смешения заданного количества связующего и катализатора, последующего добавления наполнителя, формования образцов под давлением 0,3 МПа и последующего отверждения при комнатной температуре в течение 72 часов. В качестве наполнителя использовались полые стеклянные микросферы МС-А9 группа А1 ТУ 6-48-108-94, представляющие собой инертные, сферические частицы, наполненные воздухом, средний размер частиц 30–40 мкм.

Коэффициент теплопроводности определялся в динамическом режиме по ГОСТ 23630.2-79 на приборе ИТ-λ-400, тепло-

емкость по ГОСТ 23630.1-79 на приборе ИТ-С-400, коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР) по ГОСТ 15173-70.

Теплофизические свойства СП определяются соотношением связующего и наполнителя, а также их природой. Теплопроводность композиционных материалов, состоящих из нескольких компонентов, может быть найдена с помощью следующей зависимости [6]:

$$\lambda = \lambda_{\text{св}} (1 - \varphi) + \lambda_{\text{н}} \varphi$$

где λ – теплопроводность многокомпонентного материала; $\lambda_{\text{св}}$, $\lambda_{\text{н}}$ – теплопроводность первого и второго компонентов; φ – объемная доля наполнителя.

В табл.1 представлены расчетные и экспериментальные значения коэффициента теплопроводности СП со связующим ПДМС при 25°C .

Табл. 1. Теплопроводность СП со связующим ПДМС при 25°C .

Содержание ПДМС, % (объемные)	Плотность СП, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности СП, Вт/м·К	
		Расчетное значение	Экспериментальное значение
30	482	0,104	0,127
50	573	0,156	0,160
70	805	0,228	0,194
100	1080	0,350	0,350

В целом расчетные и экспериментальные данные достаточно близки. На рисунке 1 представлены температурные зависимости синтактных пенопластов с различным содержанием связующего.

Повышенное значение теплопроводности (кривая 1) кремнийорганического эластомера по сравнению с аналогичными органическими материалами объясняется высокой гибкостью макромолекул, связанной с низким межмолекулярным взаимодействием силиконовых цепей. Высокая гибкость макромолекул приводит также к отрицательной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры по сравнению со связующими, имеющими жесткую структуру. При объемном содержании полидиметилсилоксана 50% коэффициент теплопроводности не зависит от температуры (кривая 3). Однако при снижении объемной доли ПДМС до 10% при ожидаемом снижении теплопроводящих характеристик до 0,12 Вт/м*К за счет возрастания газовой фазы в СП наблюдается возрастание температурной зависимости коэффициента теплопроводности в связи с преобладающим влиянием стеклянного наполнителя обладающего традиционной положительной температурной зависимостью (кривая 4).

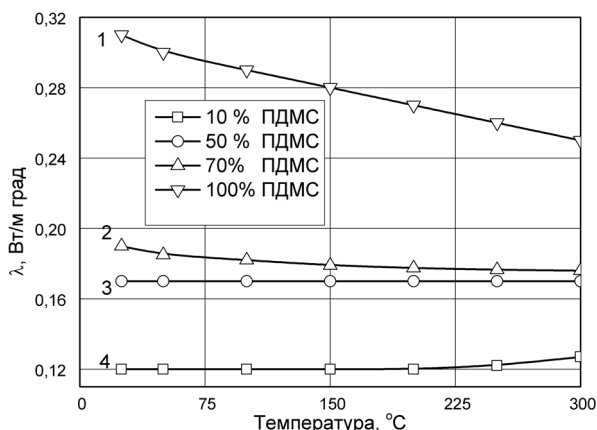


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры.

Теплоемкость СП со связующим ПДМС так же, как и в предыдущем случае, в значительной степени определяется соотношением компонентов. Высокая теплоемкость чистого ПДМС (кривая 1) обусловлена значительной подвижностью сегментов макромолекул полимера и малым межмолекулярным взаимодействием. То же относится и к композициям с высоким содержанием ПДМС (кривые 2, 3). Так как теплоемкость ПДМС значительно выше, чем теплоемкость стекла, то снижение объемной доли связующего в СП до 10 % приводит и к снижению данной величины до минимального значения 1050 Дж/Кг·град.

Теплоемкость веществ определяется степенью свободы молекул. С ростом температуры подвижность молекул компонентов растет, соответственно возрастает и теплоемкость СП (рис.2), особенно для композиций с высоким содержанием полиорганосилоксана.

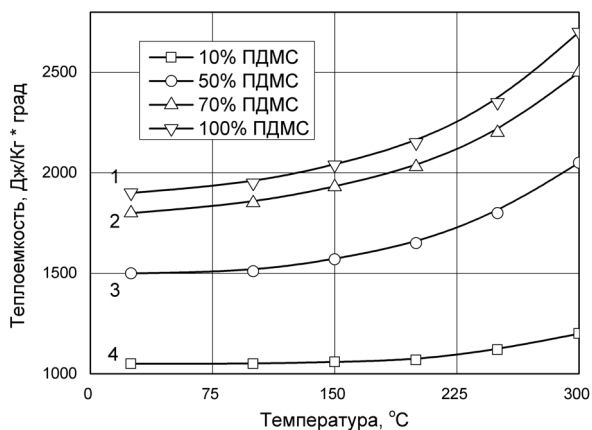


Рис. 2. Зависимость удельной теплоемкости от температуры.

В целом надо учитывать тот факт, что повышенная теплоемкость композиции способствует снижению коэффициента теплопередачи, что в целом будет улучшать теплоизолярующие свойства СП.

Роль КЛТР для композитных материалов велика, так как даже незначительные различия КЛТР у составляющих композитного материала приводит к возникновению напряжений, которые могут привести к образованию микротрещин и частичному разрушению. Соответственно на следующем этапе работы были проведены исследования по определению коэффициента термического линейного расширения (КЛТР) СП в зависимости от содержания связующего и внешней температуры.

На коэффициент термического линейного расширения в значительной степени влияет объемная доля ПДМС в СП (рис.3).

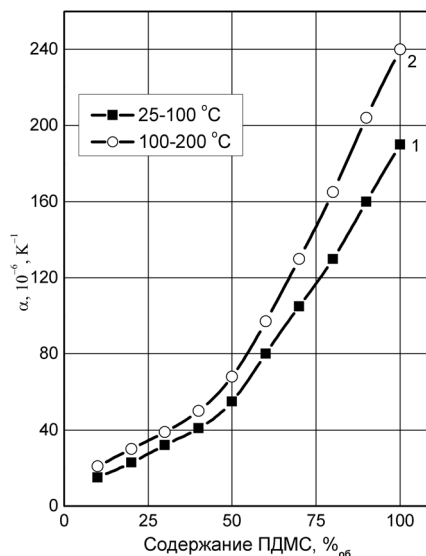


Рис. 3. Зависимость коэффициента термического линейного расширения от содержания ПДМС в СП.

Высокий КЛТР полидиметилсилоксана в целом характерен для многих гибкоцепных полимеров. Со снижением содержания связующего вне зависимости от внешней температуры наблюдается снижение КЛТР за счет преобладания стеклянной фазы в композиции 10% (кривые 1, 2). При объемном содержании связующего 10% значения КЛТР снижаются на порядок по сравнению с ненаполненным ПДМС. При этом появляется возможность добиваться необходимых значений КЛТР, регулируя соотношение наполнитель - связующее. Это весьма важно при использовании СП для композитных покрытий и заполнения сэндвич-конструкций, где значительные различия в значениях КЛТР могут приводить к деформации, а иногда и разрушению теплоизоляции.

Таким образом, проведенные исследования показали реальную возможность создания СП на основе связующего ПДМС с хорошими теплоизоляционными характеристиками. Благодаря высокой термической устойчивости до 250°C и стойкости к большинству внешних агрессивных факторов, разработанные синтактные пенопласты могут быть использованы в производстве теплоизоляционных наполнителей облегченных сэндвич-панелей и теплоизоляционных материалов и покрытий для аэрокосмической отрасли, автомобилестроения, судостроения, машиностроения, строительства и других областей промышленности.

Литература

1. Shutov F.A. Syntactic polymeric foams// In: Klempner D, Frisch KC, editors. Handbook of polymeric Foams and Foam Technology. New York: Hanser Publishers. 1991. P.355-374.
2. Bunn, P. and Mottram, J.T. Manufacture and Compression Properties of Syntactic Foams. Composites // V. 24. No 7. 1993. P. 565-571.
3. Zheneva M.V., Kopylov V.M., Kovyazin V.A., Sokolskaya I.B., Kireev V.V., Raigorodskii I.M. Carbofunctional Oligo(dimethylsiloxanes) with terminal hydroxyphenyl groups // Polymer Science. Series A. 2004. T. 46. № 7. P. 693-697.
4. Чухланов В.Ю., Сысоев Э.П. Применение полых микросфер в кремнийорганических синтактных пенопластах // Стекло и керамика. 2000. № 2. С. 11-12.
5. Chukhlanov V.Yu., Tereshina E.N. Polyorganosiloxane-Based Heat-Resistant Sealant with Improved Dielectric Characteristics // Polymer Science, Ser. C. 2007. Vol. 49. No. 3. P. 288-291.
6. Берлин Ал. Ал., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколов Н.С// Принципы создания композиционных полимерных материалов. М.: Химия.1990. 240 с.