Моделирование прочностных характеристик пенопластов

Modeling the strength characteristics of foam plastics

И.П. ПЕТРЮК

I.P. PETRYUK

ФГБОУ ВО Костромская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кострома

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma

ipp2801@rambler.ru

В работе предлагаются уравнения, позволяющие рассчитать прочность при растяжении пенопластов различной природы от степени их вспенивания. Показано, что эластичные пенопласты обладают более низкими прочностными характеристиками по сравнению с жесткими. Это связано с их структурными особенностями при растяжении.

Ключевые слова: газонаполненные полимеры, пенопласты, степень пористости, моделирование свойств полимерных композитов

The paper proposes equations that allow calculation the tensile strength of foam plastics of various nature depending on the degree of foaming. It is shown that elastic foams have lower strength characteristics compared to rigid ones. This is due to their structural features in tension.

Keywords: gas filled polymers, foam plastic, degree of porosity, modeling the properties of polymeric composites

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-5-6-36-37

Пенопласты занимают особое положение среди других типов полимерных композиционных материалов, что объясняется, прежде всего, уникальным сочетанием их легкости с высокими звуко-, тепло- и электроизолирующими свойствами. Вместе с тем, в результате вспенивания происходит существенное снижение прочностных показателей газонаполненных пластмасс по сравнению с соответствующими монолитными пластиками.

Известно, что физико-механические свойства пенопластов зависят от размеров и формы ячеек [1–3]. Разрушение газонаполненных полимерных материалов является сложным процессом, который включает разрушение структурных элементов различных масштабов, в частности, разрыв тяжей и стенок макроячеек. Поэтому установление количественной связи между механическими свойствами и параметрами ячеистой структуры пенопластов является важной задачей при разработке пеноматериалов с заданными свойствами [1–2].

В большинстве работ в качестве основного показателя, характеризующего макроструктуру газонаполненного материала, рассматривают кажущуюся плотность пенопласта [2–5]. Однако при проектировании новых газонаполненных материалов с заданной структурой, особенно интегральных пенопластов, более удобным показателем является степень пористости пеноматериала.

Поэтому целью настоящей работы являлся анализ влияния степени пористости пенопласта на его прочностные характеристики.

На рис. 1 представлена зависимость изменения прочности пенопластов при растяжении от степени их пористости. При этом коэффициент корреляции между степенью снижения прочностных характеристик (σ/σ_0) и степенью пористости близок к 1, что говорит о зависимости, близкой к функциональной.

Как видно из представленных данных, изменение прочностных характеристик рассматриваемых газонаполненных материалов может быть достаточно надежно выражено линейной зависимостью:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = (1 - P) \quad (1)$$

где σ и σ_0 – разрушающее напряжение при растяжении пенопласта и монолитной полимерной композиции, составляющей основу пенопласта, соответственно; P – степень пористости пенопласта.

Следует заметить, что формула (1) может быть использована для прогнозирования прочностных характеристик жестких пенопла-

стов различной природы в достаточно широком диапазоне степени их вспенивания.

Рис. 1. Зависимость изменения прочности пенопласта σ/σ_0 от степени пористости ($\circ$ – пенополистирол; $\square$ – пенополивинилхлорид; Δ – пенополиуретан; R – коэффициент корреляции).

Рис. 2. Зависимость изменения прочности вспененного ДСТ-30-01 от степени пористости: 1 – теоретическая, по формуле (1); 2 – экспериментальные данные (R – коэффициент корреляции)

На рис. 2 представлена зависимость изменения прочности при растяжении вспененного бутадиен-стирольного термоэластопласта ДСТ-30-01.

Как видно из представленных данных, формула (1) не позволяет прогнозировать изменение прочностных характеристик эластичного пенопласта. Тем не менее, коэффициент корреляции между степенью снижения прочностных характеристик и степенью пористости газонаполненного термоэластопласта близок к 1, и экспериментальные данные могут быть описаны с высокой степенью точности линейной зависимостью вида:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = (1 - \beta \Pi), \quad (2)$$

где $\beta = 1/K_{ЭФ}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность разрушения напряженных элементов (тяжей) эластичного пенопласта и связанное с этим уменьшение площади поперечного сечения полимерной основы, воспринимающей нагрузку при растяжении и разрыве; $K_{ЭФ}$ – эффективный коэффициент использования площади поперечного сечения напряженных элементов эластичного пенопласта при разрыве ($K_{ЭФ} = 0,78-0,86$ [2]).

Такое изменение прочностных характеристик для вспененного термоэластопласта объясняется неравномерностью распределения напряжений по тяжам и стенкам ячеек, обусловленной неоднородностью макроструктуры газонаполненного материала. В результате этого в нагруженном эластичном пенопласте возникает концентрация напряжений на одиночных тяжах или стенках.

Согласно [6], при деформациях, близких к разрывным, модель ячеистой структуры эластичного пенопласта может быть представлена в виде тяжей, которые располагаются параллельно друг другу в направлении приложения нагрузки.

Для такой системы характерно, что при приложении начальной нагрузки часть тяжей, относительная доля площади которых в сечении составляет до 10% [2], разрушается.

В итоге разрушающее напряжение воспринимается неразрушенными элементами ячеек, площадь которых в сечении меньше первоначальной, и может быть оценена коэффициентом $K_{ЭФ}$. Результат такого «уменьшения» площади поперечного сечения – более низкие прочностные характеристики эластичных пенопластов по сравнению с жесткими, что можно учесть на практике, преобразуя формулу (1) в (2) с помощью поправочного коэффициента.

Таким образом, представленные данные показывают, что, зная параметры макроструктуры пенопласта, которые влияют на его степень пористости, а также зависимость этих параметров от рецептурных и технологических факторов, можно при разработке новых газонаполненных полимерных материалов прогнозировать уровень их прочностных характеристик.

Литература

1. Панов Ю.Т. Научные основы создания пенопластов второго поколения. – Владимир: ВлГУ, 2003. – 176 с.
2. Дементьев А.Г. Структура и свойства газонаполненных полимеров: дис.... докт. техн. наук. – Москва, 1997. – 353 с.
3. Бакирова И.Н. Газонаполненные полимеры / И.Н. Бакирова, Л.А. Зенитова. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2009. – 105 с.
4. Павлов В.А. Пенополистирол. – М.: Химия, 1973. – 240 с.
5. Пасечник М.П., Дорофеев А.А. Влияние гранул полистирола ПСВ-С на свойства жесткого пенополиуретана марки ППУ-240-2 // Пластические массы. – 2019. – № 3–4. – С. 35–38.
6. Дементьев А.Г., Тараканов О.Г. Статистическое исследование разрушения эластичных пенополиуретанов при кратковременном нагружении // Высокомолекулярные соединения. – 1982. – Т.(А) XXIV, № 7. – С. 1397–1405.