

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЕ КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ КОНВЕРСИИ СВЯЗУЮЩЕГО КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Пестренин В.М.¹, Пестренина И.В.¹, Ландик Л.В.¹, Кондюрин А.В.²

¹Пермский государственный университет, Пермь

²Эвингар Сайентифик, Эвингар

pestreninvm@mail.ru, ipestrenina@gmail.com, lidialandik@gmail.com,
info@ewingarscientific.com.au

В задачах технологической механики изготовления конструкций из композитов, а также в задачах изготовления, упаковки и развертывания в космосе конструкций космического назначения возникает необходимость вычисления эффективных свойств композитного материала с не полностью отвержденным связующим. Оценка показывает, что значения некоторых эффективных термоупругих констант волокнистого композита в процессе отверждения связующего могут изменяться на порядок.

Для описания отверждения связующего в процессе его полимеризации применяются различные кинетические уравнения, обобщающие на рассматриваемый авторами состав связующего закон Арениуса. В частности, для связующих на основе эпоксидных смол многие авторы [1, 2 и др.] используют уравнение с автоускорением и автозамедлением

$$dC/dt = -k_1 * C * [1 + k_2 * (1 - C)] * [1 - k_3 * (1 - C)], \quad (1)$$

где $C = 1 - \beta$ – концентрация эпоксидных групп, β – степень отверждения связующего; экспериментально определяемые коэффициенты уравнения k_1, k_2, k_3 могут быть функциями температуры, k_1 подчиняется закону Арениуса. В работе предлагается алгоритм определения параметров уравнения (1) по изотермическим экспериментальным данным. Уравнение интегрируется и представляется в форме

$$F(C, T, t, k_1, k_2, k_3) = 0. \quad (2)$$

По экспериментальным данным при температуре T_i ($i = 1, \dots, m$), m – число изотермических опытов, строится система уравнений

$$F(C_{ij}, T_i, t_{ij}, k_{1i}, k_{2i}, k_{3i}) = 0, \quad (3)$$

где $j = 1, \dots, n_i$, n_i – число экспериментальных точек для T_i температуры. Система полученных уравнений решается приближенно.

Приводятся результаты построения кинетического уравнения для двух- и многокомпонентных связующих Барнес и Гурит. Использование кинетических уравнений демонстрируется на примерах определения степени отверждения связующих, подвергаемых заданному температурному нагружению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта №С-26/1025.

Литература

[1] Arinina, M.P., Kostenko, V.A., Gorbunova, I.Y., Il'in, S.O., Malkin, A.Y. Kinetics of Curing of Epoxy Oligomer by Diaminodiphenyl Sulfone: Rheology and Calorimetry // Polymer Science - Series A 2018 60(5), с. 683-690

[2] Фоминых А.В., Аношкин А.Н., Лысенко С.Н. Экспериментальное исследование кинетики полимеризации эпоксидной смолы // Математическое моделирование систем и процессов. – 2000. – №8. – С.94–98.