

К. С. Дибирова, Г. В. Козлов, Г. М. Магомедов,
Г. Е. Заиков, Р. Я. Дебердеев, С. Н. Русанова

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИЭТИЛЕН ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ/ОРГАНОГЛИНА ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Ключевые слова: наноккомпозит, органоглина, ударная вязкость, кристаллическая фаза, механическое разупорядочение.

Показано, что величина ударной вязкости наноккомпозитов полимер/органоглина в значительной степени зависит от относительной доли кристаллической фазы, подвергавшейся механическому разупорядочению.

Key words: nanocomposite, organoclay, impact toughness, crystalline phase, mechanical disordering.

It has been shown that impact toughness value of nanocomposites polymer/organoclay depends to a considerable extent on relative fraction of crystalline phase, subjecting to mechanical disordering.

Рассмотрим физические основы разрушения аморфно-кристаллических полимеров в ударных испытаниях на примере полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) марки 276 с молекулярной массой $1,4 \times 10^5$ и степенью кристалличности $K=0,723$. Испытания образцов ПЭВП-276 с надрезом 0,5 мм выполнены по методике Шарпи на инструментированном маятниковом копре, что позволило получить экспериментальные значения модуля упругости E и предела текучести σ_T . Авторы [1] показали, что ударная вязкость A_p полимеров подчиняется следующему скейлинговому соотношению:

$$\ln A_p \sim (d_p - 4), \quad (1)$$

где d_p – фрактальная размерность поверхности разрушения, которую можно определить из уравнения [1]:

$$d_p = 2 - \frac{\ln[1 - (\chi_{кр} + \varphi_{р.м.})]}{\ln C_\infty}, \quad (2)$$

где $\chi_{кр}$ – доля кристаллической фазы, подвергшаяся механическому упорядочению в процессе деформирования, $\varphi_{р.м.}$ – относительная доля рыхлоупакованной матрицы аморфной фазы ($\varphi_{р.м.} \approx 1-K$), C_∞ – характеристическое отношение.

В рамках фрактальной концепции пластичности было показано [1, 2], что процесс текучести реализуется не во всем объеме образца, а только в его части, доля которой составляет $(1-\chi)$, где χ – доля упруго деформируемого полимера. Величину коэффициента Пуассона в точке текучести ν_T можно определить так [1]:

$$\nu_T = \nu\chi + 0,5(1-\chi), \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона упруго деформируемого полимера, определяемый по результатам механических испытаний с помощью уравнения [2]:

$$\frac{\sigma_T}{E} = \frac{1-2\nu}{6(1+\nu)}. \quad (4)$$

Величина $\chi_{кр}$ определяется следующим образом [2]:

$$\chi_{кр} = \chi - \varphi_{р.м.}. \quad (5)$$

Фрактальная размерность d_f структуры полимера может быть рассчитана так [1]:

$$d_f = (d-1)(1+\nu), \quad (6)$$

где d – размерность евклидова пространства, в котором рассматривается фрактал (очевидно, $d=3$). Параметры C_∞ и d_f связаны соотношением [2]:

$$C_\infty = \frac{2d_f}{d(d-1)(d-d_f)} + \frac{4}{3}. \quad (7)$$

Рассмотренные выше методики и условие $(\chi_{кр} + \varphi_{р.м.}) = \chi$ позволяют оценить величину d_p согласно уравнению (2) и построить зависимость $A_p(d_p-4)$ в логарифмических координатах, которая приведена на рис. 1. Как и ожидалось, наблюдается снижение A_p по мере увеличения параметра (d_p-4) или роста фрактальной размерности d_p , что соответствует скейлинговому соотношению (1). В свою очередь, рост d_p обусловлен повышением $\chi_{кр}$ по мере снижения температуры испытаний T от 333 до 213 К. Следовательно, основной причиной снижения A_p по мере уменьшения T является увеличение относительной доли подвергшейся механическому разупорядочению кристаллической фазы $\chi_{кр}$.

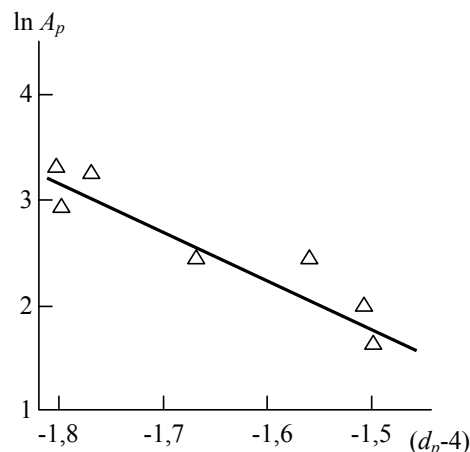


Рис. 1 – Зависимость ударной вязкости A_p от величины параметра (d_p-4) в логарифмических координатах для ПЭВП-276

Далее рассмотрим причины снижения ударной вязкости A_p наноккомпозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей по сравнению с исходным полимером. Введение органоглины приводит к повышению d_f и соответствующему

увеличению $\chi_{кр}$, что снижает величину A_p . Так, для нанокompозитов ПЭВП/органоглина с содержанием последней 2 масс. % величина $\chi_{кр}$ увеличивается от 0,305 для ПЭВП до 0,434 для нанокompозита, что приводит к снижению A_p от 6,55 до 3,86 кДж/м². Введение 10 масс. % совмещающего агента (малеинового ангидрида) при одинаковом содержании органоглины дает рост $\chi_{кр}$ от 0,30 до 0,44 и соответствующему снижению A_p от 7,40 до 3,95 кДж/м².

И в заключение рассмотрим вопрос, насколько отсутствие механического разупорядочения, т.е., $\chi_{кр}=0$, может изменить величину A_p . Для нанокompозита ПЭВП/органоглина, упомянутого

выше, реализация условия $\chi_{кр}=0$ дает величину $A_p=27,7$ кДж/м², т.е., увеличение ударной вязкости почти в 4 раза.

Литература

1. Микитаев, А.К. Козлов, Г.В. Фрактальная механика полимерных материалов. Нальчик, Изд-во КБГУ им. Х.М. Бербекова, 2008, 312 с.
2. Козлов, Г.В. Овчаренко, Е.Н. Микитаев, А.К. Структура аморфного состояния полимеров. М., Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009, 392 с.

© **К. С. Дибирова** – зав. лаб. каф. общей и экспериментальной физики Дагестанского госуд. пед. ун-та (ДГПУ); **Г. В. Козлов** – ст. науч. сотр. УНИИД Кабардино-Балкарского госуд. ун-та им. Х.М. Бербекова (КБГУ); **Г. М. Магомедов** – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. общей и экспериментальной физики ДГПУ; **Г. Е. Заиков** – д-р хим. наук, проф., зав. отделом ИБХФ РАН; **Р. Я. Дебердеев** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии переработки полимеров и композиционных материалов КНИТУ, deberdeev@kstu.ru; **С. Н. Русанова** – канд. техн. наук, доц. той же кафедры.