

Рассмотрим физические основы разрушения аморфно-кристаллических полимеров в ударных испытаниях на примере полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) марки 276 с молекулярной массой $1,4 \cdot 10^5$ 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: (1) где d_p – фрактальная размерность поверхности разрушения, которую можно определить из уравнения [1]: (2) где skp – доля кристаллической фазы, подвергшаяся механическому упорядочению в процессе деформирования, $j.p.m.$ – относительная доля рыхлоупакованной матрицы аморфной фазы ($j.p.m. \gg 1-K$), $C\%$ – 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 $(1-c)$, где c – доля упруго деформируемого полимера. Величину коэффициента Пуассона в точке текучести n_T можно определить так [1]: (3) где n – коэффициент Пуассона упруго деформируемого полимера, определяемый по результатам механических испытаний с помощью уравнения [2]: (4) Величина skp определяется следующим образом [2]: (5) Фрактальная размерность d_f структуры полимера может быть рассчитана так [1]: (6) где d – размерность евклидова пространства, в котором рассматривается фрактал (очевидно, $d=3$). Параметры $C\%$ и d_f связаны соотношением [2]: (7) Рассмотренные выше методики и условие $(skp + j.p.m.) = c$ 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 skp 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 skp . 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 нанокompозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей по сравнению с исходным полимером. Введение органоглины приводит к повышению d_f и соответствующему увеличению skp , что снижает величину A_p . Так, для нанокompозитов ПЭВП/органоглина с содержанием последней 2 масс. % величина skp 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 $\sigma_{кр}$ 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., $\sigma_{кр}=0$, может изменить величину A_p . Для нанокompозита ПЭВП/органоглина, упомянутого выше, реализация условия $\sigma_{кр}=0$ дает величину $A_p=27,7$ кДж/м², т.е., увеличение ударной вязкости почти в 4 раза.