

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ МАТРИЦ

Потапов В. В., Нечволовова Е. М., Прут Э. В.

Деформационно-прочностные свойства композитов при повышенных температурах определяются в основном характеристиками полимерных матриц. В особенности это проявляется при сложнонапряженном состоянии [1]. Однако природа процессов деформирования и разрушения полимерных матриц в стеклообразном состоянии изучена недостаточно [2]. Так, практически отсутствуют работы по исследованию влияния режима нагружения на деформационно-прочностные свойства материала. В работе [3] было, например, показано, что пределы вынужденной эластичности (или, по терминологии авторов, пределы текучести) при растяжении σ_p^e и сжатии σ_c^e эпоксидных матриц зависят от условий охлаждения: для отожженных образцов $\sigma_p^e \approx \sigma_c^e$, а для закаленных образцов $\sigma_c^e > \sigma_p^e$. Диаграммы деформирования во всех случаях имели плато вынужденной эластичности.

В настоящей работе исследованы деформационно-прочностные характеристики широко используемой в технологии композитов эпоксидной матрицы ЭДТ-10 [4] при различных режимах нагружения: растяжении, сжатии и изгибе в температурном диапазоне 293—393 К.

Эпоксидную матрицу ЭДТ-10, состоящую из ЭД-20 (100 вес. ч.), ДЭГ-1 (10 вес. ч.) и отвердителя триэтаноламинотитаната (10 вес. ч.), отверждали по следующему режиму: 353 К — 3 ч, 403 К — 5 ч, 423 К — 5 ч.

Образцы для испытаний на растяжение в виде гантелей с диаметром и длиной рабочей части 5 и 40 мм соответственно вытачивали механически. Было установлено, что разрывная прочность механически изготовленных образцов на 10—15% выше, чем гантелей, отлитых в формах с тefлоновыми вкладышами. При механической обработке также уменьшался вариационный коэффициент прочности. Образцы для испытаний на сжатие в виде столбиков диаметром и высотой 10 и 15 мм [5] соответственно также вытачивали механически из заготовок, которые использовали и для растяжения. Образцы для испытаний на изгиб по схеме трехточечного нагружения изготавливали в виде пластин размерами 6 (толщина), 10 (ширина) и 65 мм (длина между точками опоры).

Перед испытаниями во всех случаях образцы отжигали при 403 К (температура стеклования полимера 370 К) в течение 15 мин. Охлаждение было естественным.

Механические испытания проводили на испытательной машине «Инстрон-1122» при скорости смещения верхнего траверса на растяжение 2, сжатие 1, изгиб 2 мм/мин. Температурные испытания проводили в диапазоне 293—393 К в термошкафу фирмы «Инстрон». Деформацию при растяжении измеряли с помощью стандартных экстензометров фирмы «Инстрон», при сжатии и изгибе — по смещению верхнего траверса.

Напряжение при построении диаграмм $\sigma - \epsilon$ для растяжения и сжатия вычисляли на исходное сечение. Модуль упругости E определяли из начального наклона диаграмм. Напряжение и модуль при изгибе вычисляли по формулам, приведенным в работе [6]. Результаты усредняли по 6—8 образцам.

На рис. 1 приведены диаграммы $\sigma - \epsilon$ для растяжения, сжатия и изгиба ЭДТ-10 при различных температурах. Видно, что при растяжении при комнатной температуре образцы разрушаются квазихрупко, при повышенных температурах появляется плато вынужденной эластичности. При сжатии при всех температурах на диаграммах $\sigma - \epsilon$ имеется плато вынужденной эластичности. При изгибе при 293—353 К образцы разрушаются квазихрупко, а при более высоких — с образованием плато вынужденной эластичности. Следовательно, вид диаграмм деформирования зависит как от температуры, так и режима нагружения.

При этом оказалось, что E при комнатной температуре практически один и тот же (2,5—2,8 ГПа) для всех режимов нагружения. Однако характер понижения E с температурой зависит от режима нагружения (рис. 2, а): для сжатия и изгиба E изменяются симметрично, а для растяже-

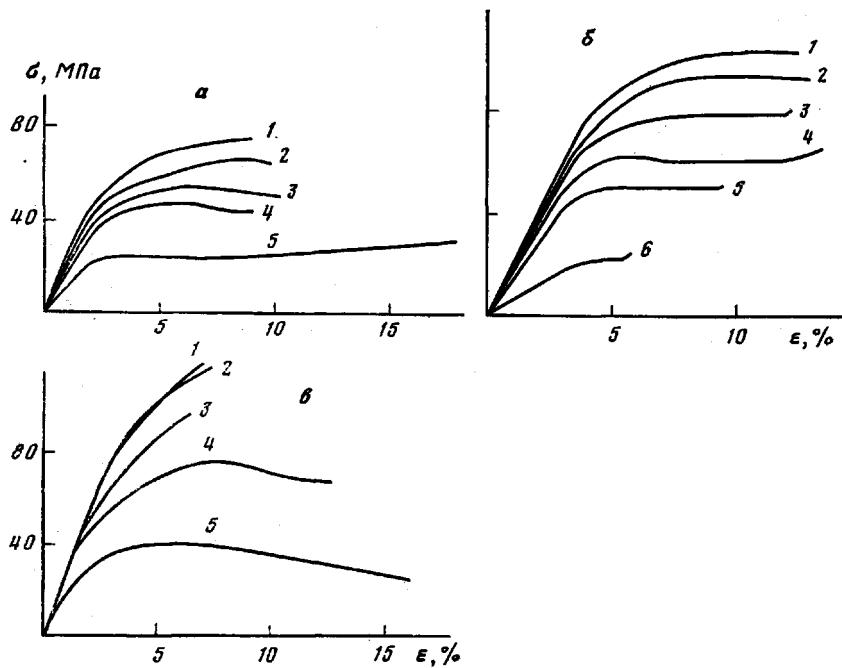


Рис. 1. Диаграммы растяжения (а), сжатия (б), изгиба (с) при 293 (1), 313 (2), 333 (3), 353 (4), 373 (5) и 393 К (6)

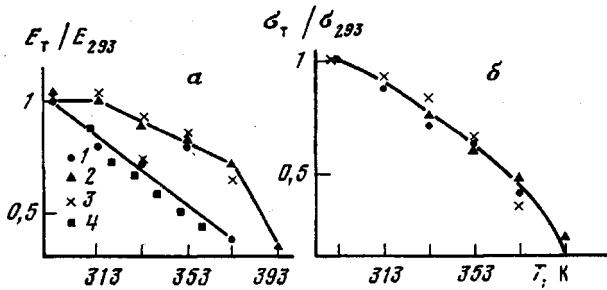


Рис. 2. Зависимость относительной величины модуля упругости E_t/E_{293} (а) и относительной величины максимальной прочности σ_t/σ_{293} (б) от температуры при растяжении по данным настоящей работы (1) и работы [4] (4), сжатии (2) и изгибе (3)

ния более резко, причем в последнем случае значения E хорошо согласуются с лит. данными [4]. Это дает основания полагать, что с повышением температуры нейтральная ось смещается и не совпадает с линией центров тяжести сечений [7]. Так как на начальном участке $\sigma=E\varepsilon$, то, применяя гипотезу плоских сечений, можно оценить смещение нейтрального слоя. Из расчета следует, что, так как с повышением температуры $E_c > E_p$, нейтральный слой смещается и область напряжений сжатия уменьшается. Таким образом, изменение E в зависимости от температуры для изгиба адекватно его изменению для сжатия.

Неравнозначность значений E для растяжения и сжатия, по-видимому, связана с различным вкладом релаксационных процессов при размораживании молекулярной подвижности. Для полиамидов и для фторопласта-4 в работе [7] было также установлено, что $E_p < E_c$.

Из рис. 2 видно, что резкое уменьшение E с повышением температуры для сжатия и изгиба происходит при 373 К, температуре стеклования ЭДТ-10, определяемой термомеханически при сжатии [8]. В то же время

E_p линейно уменьшается с повышением температуры во всем исследованном диапазоне. Полученный результат необходимо учитывать при разработке конструкционных материалов, работающих при повышенных температурах в различных режимах нагружения, так как температуру стекловидения и теплостойкость обычно определяют при сжатии и изгибе [6, 8].

Иная зависимость от температуры и типа нагружения наблюдается для максимального значения прочности, которое соответствует условиям разрыва при хрупком разрушении, а в других случаях — пределу вынужденной эластичности (рис. 2, б).

При комнатной температуре при сжатии образцы деформируются с образованием «бочки», предел вынужденной эластичности $\sigma_c = 103$ МПа. При растяжении и изгибе образцы разрушаются квазихрупко, однако величины разрывной прочности различны: при растяжении $\sigma_b = 76$ МПа и при сжатии $\sigma_a = 115$ МПа. Эта разница между σ_b и σ_a , по всей вероятности, обусловлена дефектностью образцов. Дефекты могут быть объемными или поверхностными. Однако доля объемных дефектов в образцах на растяжение и изгиб должна быть одной и той же, поскольку образцы отверждали и охлаждали в одинаковых условиях. Следовательно разница между величинами прочности при растяжении и изгибе в значительной степени обусловлена поверхностными дефектами. Такое же различие между σ_b и σ_a наблюдается и при повышенных температурах, хотя в данных случаях на диаграмме $\sigma - \epsilon$ проявляется плато вынужденной эластичности (рис. 1).

В отличие от изменения модуля с температурой относительная величина прочности уменьшается практически одинаково независимо от режима нагружения (рис. 2, б). При этом прочность при изгибе больше, чем при других режимах нагружения. Однако разница между прочностью при изгибе и сжатии незначительна и составляет 10–15 МПа, т. е. наименьшая величина прочности наблюдается при растяжении, что обусловлено, как уже подчеркивалось, поверхностными дефектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1981.
2. Иржак В. И., Розенберг Б. А., Ениколопян Н. С. Сетчатые полимеры. М.: Наука, 1979.
3. Солодышева Е. С., Олейник Э. Ф., Розенберг Б. А., Андреевская Г. Д., Ениколопян Н. С. Высокомолек. соед. А, 1980, т. 22, № 7, с. 1645.
4. Бабич В. Ф. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. М.: НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1966.
5. Компаниец Л. В., Бернацкий А. Д., Брайнес М. Я., Белостоцкая Н. Л., Прут Э. В. Механика полимеров, 1975, № 6, с. 1130.
6. Малкин А. Я., Аскадский А. А., Коэрига В. В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978, с. 227.
7. Земляков И. П. Механика полимеров, 1965, № 4, с. 47.
8. Тейтельбаум Б. Я. Термомеханический анализ полимеров. М.: Наука, 1979.

Институт химической физики
АН СССР

Поступила в редакцию
23.VII.1982

УДК 541.64:66.022.32

СВОЙСТВА ГЕТЕРОФАЗНЫХ ПОЛИМЕР-ОЛИГОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛИ

Ушанов С. М., Плавник Г. М., Нанушьян С. Р.,
Дашкевич Л. Л.

Кремнийорганические композиции ускоренной вулканизации находят широкое применение, однако общий их недостаток — сравнительно низкая прочность (от десятых долей до нескольких мПа). Нами исследована бинарная композиция, представляющая собой смесь винилсодержащего