

УДК 677.494.017

## РЕЛАКСИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ ЮНГА СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЕЙ

А.А. РОМАНОВА, П.П. РЫМКЕВИЧ, А.С. ГОРШКОВ, А.М. СТАЛЕВИЧ

(Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики,  
Санкт-Петербургский торгово-экономический институт,  
Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Сравнение результатов статических, высокоскоростных и динамических – методом свободных продольных колебаний – испытаний высокомодульных синтетических нитей из ароматического полиамида на основе гетероциклических и карбоциклических арамидов (СВМ, армос, терлон), а также нитей на основе ароматических полиэфиров (ПЭТФ) выявило определенные закономерности изменения эффективных значений получаемых модулей упругости.

Динамический модуль упругости, получаемый по диаграмме высокоскоростного растяжения, превосходит по численному значению статический модуль и оказывается близким к акустическому модулю [1]. Отличие динамического модуля упругости от статического модуля, наиболее вероятно, объясняется тем, что при высокоскоростном растяжении упруго сопротивляется значительно большее число структурных элементов, времена релаксации которых больше длительности механического воздействия.

Наблюдаемая разница (рис. 1 – сравнение значений релаксирующего модуля при статических, высокоскоростных и колебательных режимах деформирования) между численными значениями высокоскоростного модуля (кривая 5 на рис. 1), динамического (кривая 6 на рис. 1) и статического  $E_0$ , вероятнее всего, объясняется различием диапазонов деформирования, для которых эти значения определяются.

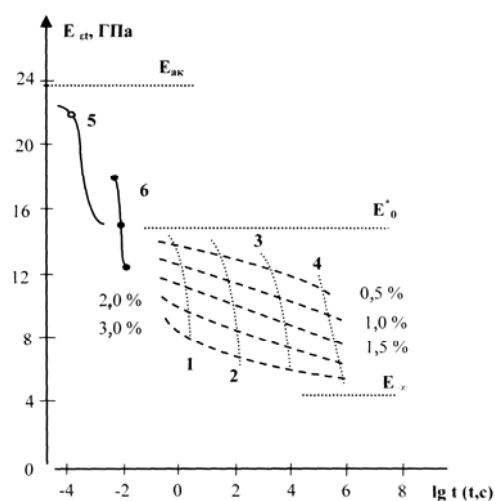


Рис. 1

В первом случае времена релаксации превышают длительность воздействия и поэтому преобладают упругие свойства. Во втором и третьем случаях наряду с упругой компонентой деформации проявляется также нелинейно-наследственная или вязкоупругая [2...4].

На рис. 1 представлены данные трех методов исследования. Линии с указанными значениями деформации в процентах представляют собой "семейство" кривых релаксации, получаемых при заданном постоянном значении деформации ( $\epsilon = \text{const}$ ).

Кривые 1...4 представляют собой значения релаксирующего модуля при постоянной скорости деформирования ( $\dot{\epsilon} = \text{const}$ ). При этом кривая 1 соответствует скорости деформирования  $\dot{\epsilon} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ ; кривая 2 –

$\dot{\epsilon} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ; кривая 3 –  $\dot{\epsilon} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ ; кривая 4 –  $\dot{\epsilon} = 32 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$ . Кривая 5 получена посредством переноса параметров спектра релаксации на малые времена, соответствующие высокоскоростному растяжению нитей ( $5 - \dot{\epsilon} = 32 \text{ с}^{-1}$ ).

Кривая 6 получена по результатам обработки опытных осциллограмм свободных продольных колебаний в диапазоне деформирования, внутри которого появляются и исчезают колебания сложной формы в виде амплитудно-модулированных колебаний (АМК) [5...7].

Граничные значения указанного диапазона деформирования для ряда объектов исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Образец	Деформация $\epsilon$ , %
ПЭТФ (114 текс)	0,47 ÷ 0,56
СВМ (29,4 текс)	0,41 ÷ 0,51
Терлон (29,4 текс)	0,42 ÷ 0,47

Как следует из рис. 1, сравнение трех методов исследования обнаруживает монотонный характер изменения соответствующих численных значений модуля. Видно также, что полученные методом свободных продольных колебаний значения динамического модуля численно близки к значениям, прогнозируемым по результатам статических и высокоскоростных измерений. При этом численные значения динамического модуля, рассчитанные по основной (несущей) частоте свободных колебаний в области проявления АМК и соответствующие среднему положению кривой 6, удовлетворительно согласуются со значениями начального модуля  $E^*_0$ , которые получались из "семейства" кривых релаксации посредством их спектральной экстраполяции на малые времена.

Таким образом, получаемые при статических измерениях численные значения начального модуля  $E^*_0$  позволяют прогнозировать появление АМК при свободных колебаниях. Тем самым подтверждается состоятельность получаемых параметров спектра релаксации и уточняется убывающий характер релаксирующего модуля в зоне малых времен – от  $10^{-4}$  до 1 с.

Метод сопоставления модулей упругости, получаемых в различных режимах деформирования, усиливает спектральную интерпретацию наблюдаемых АМК. Из всего накопленного опыта следует, что в динамических условиях, то есть в области малых времен, имеется динамическая часть спектра, отражающая релаксацию высокоскоростного динамического модуля к величине асимптотического статического модуля упругости.

По условиям статических измерений динамическую часть спектра обнаружить не представляется возможным из-за больших значений времен, характерных для статических экспериментов.

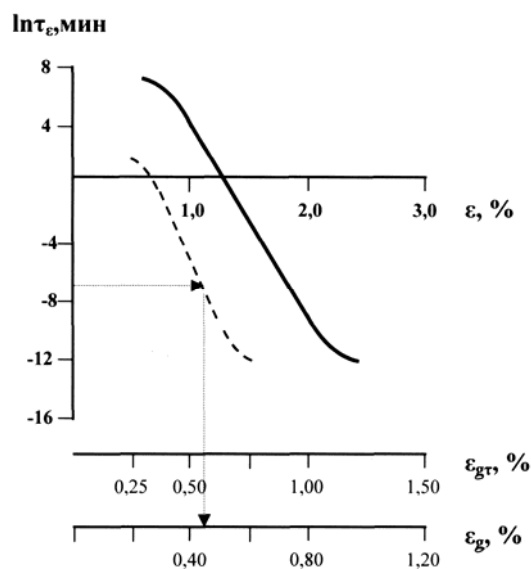


Рис. 2

На рис. 2 для нити ПЭТФ (114 текс) приведены два варианта зависимостей среднестатистических времен релаксации  $\tau_e$  от деформации при статическом ( $\epsilon$ ) и динамических ( $\epsilon_g$  и  $\epsilon_{gt}$ ) режимах. Зависимость 1 (сплошная линия на рис. 2) получена из статических испытаний в режиме простой изотермической релаксации, при которой значение нормированной релаксационной функции  $\phi$ , как критерия определения времен релаксации, принимается равным 0,5.

Зависимость 2 (пунктирная линия на рис. 2) получена аналогичным образом при  $\phi = 0,3$ . Такому значению нормированной релаксационной функции соответствует

представление об эффективности релаксационного спектра в динамических, то есть кратковременных, условиях механического воздействия.

Как видно из рис. 2, второму варианту вполне удовлетворительно соответствуют крайние значения интервала деформирования, в котором наблюдаются АМК (табл.1).

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что получаемые методом свободных продольных колебаний значения динамических модулей удовлетворительно согласуются со значениями, прогнозируемыми по результатам статических испытаний и значениями, получаемыми при высокоскоростных испытаниях. При этом численные значения динамического модуля, рассчитанные по основной частоте свободных колебаний при появлении АМК, оказались близкими к начальным значениям релаксирующего модуля, что позволяет использовать результаты статических измерений в качестве прогноза появления АМК при свободных колебаниях.

2. Из экспериментально наблюдаемых АМК в сочетании с расчетными динамическими поправками на деформационную жесткость нитей следует, что в динамиче-

ских условиях "действенность" релаксационных спектров наступает при реализации третьей части нормированных нелинейно-наследственных спектров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зосин Л.П., Верховец А.П., Перепелкин К.Е. и др. Неупругое деформирование некоторых высокомолекулярных волокон // Механика композиционных волокон. – 1983, №3. С.391...394.
2. Сударев К.В. Высокоскоростное растяжение капроновых и других синтетических нитей технического назначения: Дис... канд. техн. наук. – Л., 1985.
3. Сталевич А.М., Сталевич З.Ф., Сударев К.В. и др. Метод получения диаграмм высокоскоростного растяжения синтетических нитей // Химические волокна. – 1982, № 6. С.36...37.
4. Сталевич А.М., Сталевич З.Ф., Сударев К.В. и др. Диаграммы высокоскоростного нагружения синтетических нитей // Химические волокна. – 1983, №1. С.35...36.
5. Горшков А.С., Романова А.А., Рымкевич П.П., Сталевич А.М. Физико-химия полимеров. Синтез, свойства и применение // Сб. науч. тр. – Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2003. Вып. 9. С.60...64.
6. Перевозников Е.Н., Горшков А.С. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, № 5. С.73...76.
7. Романова А.А., Рымкевич П.П., Горшков А.С., Сталевич А.М. // Химические волокна. – 2005, №4. С.44...46.

Рекомендована кафедрой прикладной физики СПбГУСЭ. Поступила 06.04.07.