УДК 678.01:539:37

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО УПРУГОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.Г. ТИРАНОВ , Р.Р. АЛЕШИН

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В литературе, начиная с Максвелла, предложено множество моделей для иллюстрации и описания процесса релаксации напряжений [1]. Безусловно, наилучшей моделью следует считать модель Каргина-Слонимского и предлагаемая модель по существу является ее упрощенным вариантом. Однако предлагаемая модель дает более наглядное представление о процессе релаксационного напряжения и последующем эластическом восстановлении, зависящем от длительности нахождения материала при постоянной деформации – процессе релаксации напряжений.

При этом введение понятия о неньютоновской жидкости – переменной вязкости, зависящей от напряжения и времени, позволяет использовать ее для количественного описания этих релаксационных процессов.

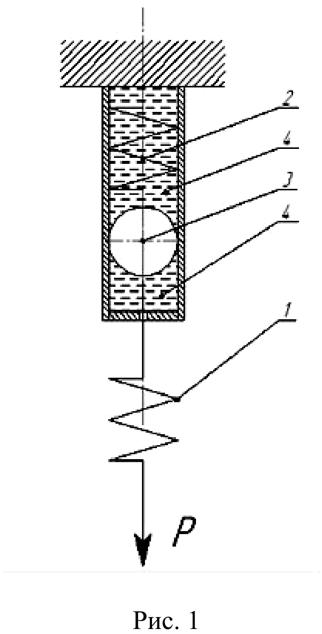

Рис. 1

На рис. 1 предлагается модель, в которой упругий элемент 1 – пружина, отражает упругую деформацию, обусловленную изменением межатомных расстояний и валентных углов макромолекул.

Элемент 2 – пружина, отражает конформационные перестройки макромолекул во времени при движении шара 3 в вязкой среде 4. Заторможенным движением шара-поршня в вязкой среде можно характеризовать силы трения между макромолекулами.

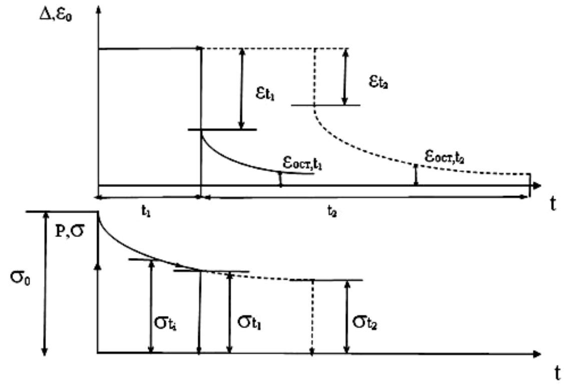

Рис. 2

На рис. 2 схематически представлен исследуемый режим релаксационного напряжения при Δ – const и последующее эластическое восстановление упругого последствия для двух временных интервалов.

При "мгновенном" задании деформации на величину Δ растягивается только элемент 1, в котором возникает усилие (напряжение) σ_0, пропорциональное деформации – ε_0.

После появления напряжения на границе шар – вязкая среда происходит перемещение шара в вязкой среде и уменьшение длины пружины (деформация), то есть уменьшение усилия напряжения в элементе 1 – σ_{ti} – релаксация напряжений. При этом происходит увеличение длины пружины 2 и напряжения в ней. Движение шара в вязкой среде, увеличение деформации элемента 2 и уменьшение деформации (и, следовательно, усилия) в элементе 1 носит затухающий характер и заканчивается при равенстве усилий в элементах 1 и 2.

Таким образом, можно предположить, что процесс релаксации напряжения обусловлен уменьшением упругой деформации – изменением межатомных расстояний и валентных углов и распрямлением макромолекул на конформационном уровне, то есть происходит переход упругой деформации в конформационно - упругую.

После внешнего освобождения модели из деформированного состояния, то есть приведение ее в состояние, при котором внешнее напряжение равно нулю, происходит мгновенное сокращение длины пружины 1 на величину Δ_{t1}, соответствующую оставшемуся напряжению σ_{t1}. Далее, вследствие оставшихся напряжений, на границе шара – вязкая среда, шар-поршень начинает перемещаться вверх, что связано с уменьшением оставшейся деформации пружины 2, состоящей из перемещения поршня 3, что адекватно связано с изменением конформации цепи и перехода ее в более свернутое состояние.

С увеличением длительности процесса релаксации напряжений происходит дальнейшее уменьшение напряжений до σ_{t2} и перераспределение деформации упругого элемента 1 в деформацию элемента 2, то есть распрямление макромолекул на конформационном уровне.

После внешнего освобождения модели (образца) из деформированного состояния, то есть при $\sigma_t = 0$, происходит сокращение образца (элемента 1) на величину – Δ_{t2}, соответствующую оставшемуся напряжению σ_{t2}. Далее происходит уменьшение остаточной деформации во времени.

Из всего вышесказанного следует, что чем длительнее процесс релаксации, тем меньше величина мгновенно обратимой деформации и больше величина остаточной деформации, которая во времени стремится к нулю.

Время полного восстановления и кинетика обусловлены длительностью процесса релаксации напряжений. Качественное рассмотрение процессов на основе модели позволяет составить дифференциальное уравнение для процесса релаксации напряжений. При этом, если допустить, что вязкость "η" или сопротивление движения шара зависит от напряжений на границе шар – вязкость, а следовательно, и от времени, то решение дифференциального уравнения приводит к аналитическому выражению для релаксации напряжений в виде:

$$\sigma_t = \sigma_0 - \sigma_{рел}\left[1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^{K}}\right],$$

где σ_0 – начальное напряжение; $\sigma_{рел}$ – релаксационная составляющая; t – текущее время; τ – внутреннее среднее статистическое время деформации; K – коэффициент, зависящий от вязкости и кинетики (K= 0,25 для большинства высокоориентированных нитей).

Аналогичным выражением ее изменений во времени в терминах остаточной деформации может быть представлен и процесс эластического восстановления – упругого последействия.

ВЫВОДЫ

1. Представлена модель процесса релаксации напряжений и последующего упругого воздействия.
2. Описан принцип действия модели, и дано аналитическое выражение для релаксации напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аскадский А.А.* Деформация полимеров. – М.: Химия, 1973.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов. Поступила 01.02.08.