

# ВЯЗКОУПРУГОСТЬ

Авторы: В. Н. Кузнецов

ВЯЗКОУПРУГОСТЬ в механике твёрдого деформируемого тела, один из видов поведения материала под нагрузкой, при котором одновременно проявляются свойства, характерные как для упругого тела, так и для вязкой жидкости. Для упругого тела механич. напряжение

$\sigma$  пропорционально деформации (относительному удлинению)

$\varepsilon$ :

$\sigma = E\varepsilon$ , где

$E$  – модуль упругости (закон Гука). Для вязкой жидкости напряжение пропорционально скорости деформирования

$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \sigma = \eta \dot{\varepsilon}$ , где

$\eta$  – коэф. динамич. вязкости (соотношение Ньютона). Деформирование вязкоупругого тела в простейших случаях качественно описывается реологич. уравнением Максвелла:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{E} \dot{\sigma} + \frac{1}{\eta} \sigma \quad (1)$$

и уравнением Кельвина – Фойхта:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \dot{\varepsilon}. \quad (2)$$

Эти уравнения соответствуют комбинированным механич. моделям, в которых образец из вязкоупругого материала представляется в виде двух последовательно [уравнение (1), модель Максвелла, рис. 1а] или параллельно

[уравнение (2), модель Кельвина – Фойхта, рис. 1б] соединённых элементов – упругой пружины и вязкого демпфера, представляющего собой поршень в цилиндре, заполненном вязкой жидкостью (маслом). При движении поршня вязкая жидкость просачивается через узкий зазор между поршнем и стенкой цилиндра, что и обеспечивает вязкое сопротивление движению. Линейные уравнения типа (1) и (2) применимы только при достаточно небольших механич. напряжениях. В большинстве случаев требуется использование сложных нелинейных уравнений.

При растяжении цилиндрич. образца вязкоупругие свойства проявляются как сильное влияние скорости деформирования

$\dot{\epsilon}$  на зависимость

$\sigma$  от

$\epsilon$  (кривая растяжения, рис. 2а), увеличение со временем

$t$  деформации  $\epsilon$  при постоянном напряжении

$\sigma$  (ползучесть, рис. 2б), уменьшение со временем

$t$  напряжения

$\sigma$  в растянутом и зафиксированном образце (релаксация, рис. 2в).

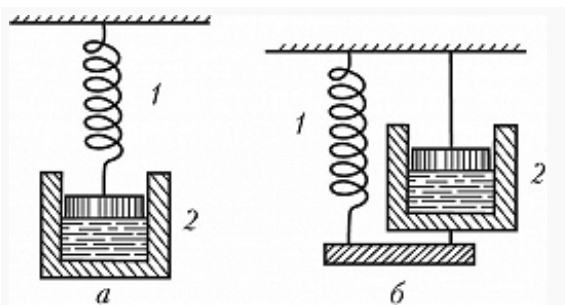


Рис. 1. Механические модели, качественно описывающие вязкоупругое поведение твёрдого тела: а – модель Максвелла с последовательным соединением пружины 1 и поршня в цилиндре 2; б – модель К...

Существующие молекулярные теории дают лишь грубую, качественную картину механизма вязкоупругого поведения твёрдого тела. В полимерах большинство длинных цепных молекул находится в полусвёрнутом состоянии; растягивающее напряжение стремится выпрямить молекулу и сориентировать её параллельно направлению растягивающей силы. При этом часть молекул быстро достигает такого состояния, в то время как др. часть распрямляется замедленно (высокоэластическая деформация). Кроме того, может возникнуть течение материала,

связанное с проскальзыванием одних цепей молекул относительно других. В резине и резиноподобных эластомерах длинные цепные молекулы уложены менее плотно, чем

в полимерах, поэтому они могут свиваться и распрямляться относительно свободно, что и позволяет резине выдерживать огромные механич. деформации.

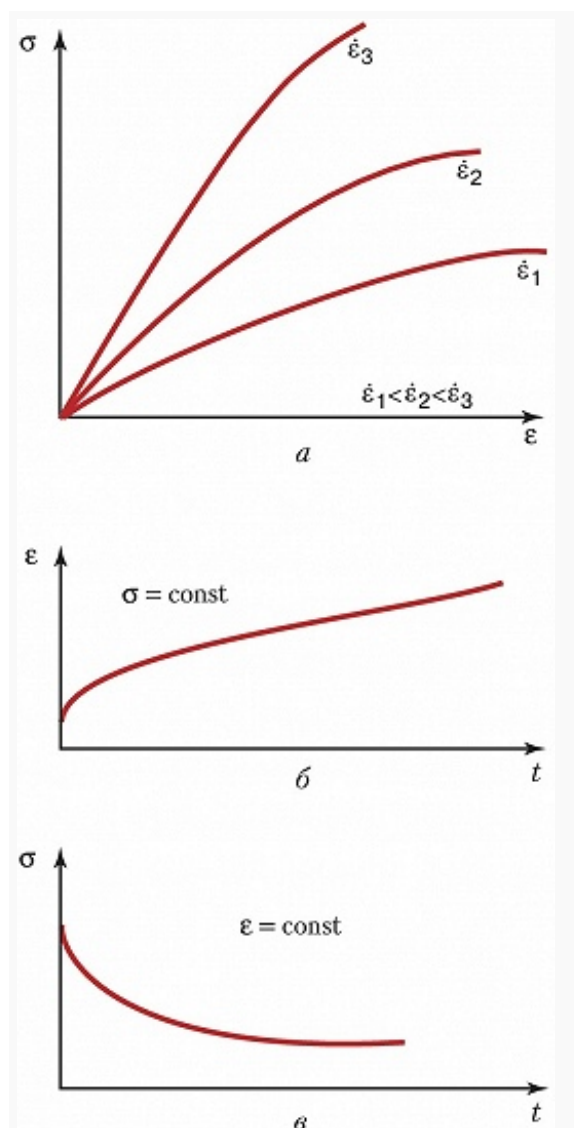


Рис. 2. Вязкоупругие свойства цилиндрического образца при растяжении: а – влияние скорости деформирования  $\dot{\epsilon}$  на зависимость  $\sigma(\epsilon)$ ; б – ползучесть; в –

Интерес к вязкоупругому поведению твёрдого тела связан с широким использованием полимеров, пластмасс, асфальтовых покрытий, твёрдого топлива ракетных двигателей и др. Теория В. является важной частью [реологии](#).

## Литература

Лит.: Алфрей Т., Гарни Е. Ф. Динамика вязкоупругого поведения // Реология. Теория и приложения. М., 1962; Рейнер М. Деформация и течение. М., 1963; Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М., 1977.