

механич. энергию, сообщённую телу в процессах его деформирования, сопровождающихся нарушением в нём термодинамич. равновесия.

В. т. относится к числу неупругих, или релаксационных, свойств (см. *Релаксация*), к-рые не описываются теорией упругости. Последняя основывается на скрытом допущении о квазистатич. характере (бесконечно малой скорости) упругого деформирования, когда в деформируемом теле не нарушается термодинамич. равновесие. При этом напряжение $\sigma(t)$ в к-л. момент времени определяется значением деформации $\epsilon(t)$ в тот же момент. Для линейного напряжённого состояния $\sigma(t) = M_0 \epsilon(t)$. Тело, подчиняющееся этому закону, наз. идеальн. упругим, M_0 — статич. модуль упругости идеальн. упругого тела, соответствующий рассматриваемому типу деформации (растяжение, кручение). При периодич. деформировании идеальн. упругого тела σ и ϵ находятся в одной фазе.

При деформировании с конечной скоростью в теле возникает отклонение от термодинамич. равновесия, вызывающее соответствующий релаксац. процесс (возращение к равновесному состоянию), сопровождаемый диссипацией (рассеянием) упругой энергии, т. е. необратимым её переходом в теплоту. Напр., при изгибе равномерно нагретой пластинки, материал к-рой расширяется при нагревании, растягиваемые волокна охлаждаются, сжимаемые — нагреваются, вследствие чего возникает поперечный градиент темп-ры, т. е. упругое деформирование вызовет нарушение теплового равновесия. Выравнивание темп-ры путём теплопроводности представляет релаксац. процесс, сопровождаемый необратимым переходом части упругой энергии в тепловую, чем объясняется наблюдаемое на опыте затухание свободных изгибных колебаний пластинки. При упругом деформировании сила с равномерным распределением атомов компонент может произойти нераспределение последних, связанное с различием их размеров. Восстановление равновесного распределения путём диффузии также представляет собой релаксац. процесс. Проявлениями неупругих, или релаксац., свойств, кроме упомянутых, являются упругое последствие в чистых металлах и сплавах, *гистерезис упругий* и др.

Деформация, возникающая в упругом теле, определяется не только приложенными к нему внешними механич. силами, но и изменениями темп-ры тела, его хим. состава, внешними магн. и электрич. полями (магнито- и электрострикция), размерами зёрен и т. д.

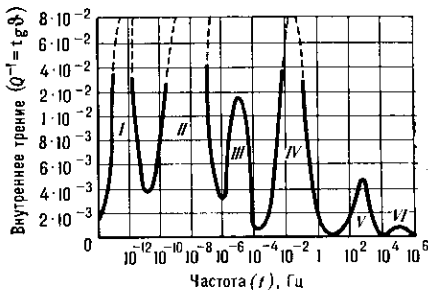


Рис. 1. Типичный релаксационный спектр твёрдого тела при комнатной температуре, связанный с процессами: I — анизотропного распределения растворённых атомов под действием внешних напряжений; II — в граничных слоях зёрен поликристаллов; III — на границах раздела двойников; IV — растворения атомов в сплавах; V — поперечных тепловых потоков; VI — междолинитных тепловых потоков.

Это приводит к многообразию релаксац. явлений, каждое из к-рых вносит свой вклад во В. т. Если в теле одновременно происходит несколько релаксац. процессов, каждый из к-рых можно характеризовать своим временем релаксации τ_i , то совокупность всех времён релаксации отд. релаксац. процессов образует т. н.

релаксац. спектр данного материала (рис. 1), к-рый характеризует данный материал при данных условиях; каждое структурное изменение в образце отражается характерным изменением релаксац. спектра.

Существует неск. феноменологич. теорий неупругих, или релаксац. свойств, к к-рым относятся: а) теория упругого последствия Больцмана — Вольтерры, описывающая такую связь между напряжением и деформацией, к-рая отображает предшествующую историю деформируемого тела: $\sigma(t) = \int_{-\infty}^t f(t-t') \epsilon(t') dt'$, где вид «функции памяти» $f(t-t')$ остаётся неизвестной; б) метод реологич. моделей, к-рый приводит к соотношениям типа:

$$a_0 \sigma + a_1 \dot{\sigma} + a_2 \ddot{\sigma} + \dots = b_0 \epsilon + b_1 \dot{\epsilon} + b_2 \ddot{\epsilon} + \dots \quad (1)$$

Это линейное дифференц. уравнение деформации характеризует зависимость от времени и является основой для описания линейного вязкоупругого поведения твёрдого тела.

Явления, описываемые уравнениями типа (1), моделируются механич. и электрич. схемами, представляющими последовательное и параллельное соединение упругих (пружины) и вязких (поршень в цилиндре с вязкой жидкостью) элементов или ёмкостей и активных сопротивлений. Наиб. простые модели: параллельное

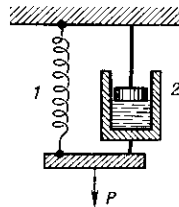


Рис. 2. Механическая модель Фохта, состоящая из параллельно соединённых пружины 1 и поршня в цилиндре 2, заполненном вязкой жидкостью.

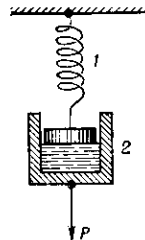


Рис. 3. Модель Максвелла с последовательным соединением пружины 1 и поршня в цилиндре 2.

соединение элементов, приводящее к зависимости $\sigma = b_0 \epsilon + b_1 \dot{\epsilon}$ (т. н. твёрдое тело Фохта — рис. 2), и последоват. соединение элементов $a_0 \sigma + a_1 \dot{\sigma} = b_0 \epsilon$ (т. н. твёрдое тело Максвелла — рис. 3). Путём последоват. и параллельного соединения неск. моделей Фохта и Максвелла с разными значениями жёсткости пружины и коэф. вязкого сопротивления удаётся достаточно точно описать соотношения между напряжениями и деформациями в вязкоупругом теле; в) теория, основанная на термодинамике неравновесных состояний, к-рая для случая одного релаксац. процесса приводит к обобщению закона Гука:

$$\sigma(t) = M \epsilon(t) + \frac{\eta}{\tau} \int_{-\infty}^t \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) \dot{\epsilon}(t') dt',$$

где $M = M_0 - \eta/\tau$, а η — материальная постоянная, имеющая размерность вязкости, τ — время релаксации. Для периодич. деформирования с циклич. частотой ω получается: $\sigma(t) = M(\omega) \epsilon(t)$, где

$$M(\omega) = M_1 + i M_2, \quad M_1 = M_0 + \frac{\eta}{\tau} \cdot \frac{(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2},$$

$$M_2 = \frac{\eta}{\tau} \cdot \frac{\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2},$$

т. е. σ и ϵ сдвинуты по фазе на угол ϑ :

$$\operatorname{tg} \vartheta = M_2/M_1 = \Delta M \frac{\omega\tau}{1 + (\Delta M)(\omega\tau)^2},$$

где $\Delta M = \eta/\tau M_0$ — т. н. дефект модуля, или полная степень релаксации; г) дислокац. теория В. т., согласно к-рой источником В. т. является движение дислокаций, объясняет, напр., уменьшение В. т. при введении примесей тем, что последние препятствуют движению