

УДК 539.371

РЕЛАКСАЦИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕТАЛЛАХ ПРИ МАЛЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ

И. А. Биленко, В. П. Митрофанов, О. А. Охрименко

(кафедра молекулярной физики и физических измерений)

Описываются результаты экспериментов по измерению релаксации упругих деформаций в дюралюминии и стали под действием постоянной механической нагрузки в области упругих деформаций $\epsilon = 10^{-6} - 10^{-5}$. Получена логарифмическая зависимость релаксирующей деформации от времени.

Процессы релаксации упругих напряжений в твердых телах под действием постоянных механических напряжений, или ползучесть материалов, обычно изучаются при достаточно больших напряжениях, поскольку длительное измерение малых деформаций является достаточно сложной задачей [1]. Деформации, при которых исследуется ползучесть, превышают $\epsilon_0 \approx 10^{-4}$ и, как правило, сопровождаются необратимыми изменениями в деформируемом теле. При этом релаксационные процессы определяются целым рядом различных факторов, что затрудняет их моделирование и интерпретацию экспериментальных результатов [2]. В настоящей работе описаны результаты экспериментов по исследованию ползучести в металлах при комнатных температурах в области упругих деформаций $\epsilon_0 = 10^{-6} - 10^{-5}$.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Образец 1 из исследуемого материала, имеющий форму консоли прямоугольного сечения (8×4 мм) длиной 40 мм, нагружался калиброванной массой 2, подвешиваемой на тонкой вольфрамовой проволоке. Мерой изгибной деформации стержня служило изменение зазора между концом

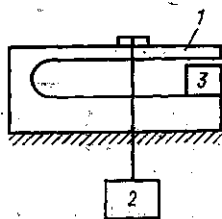


Рис. 1

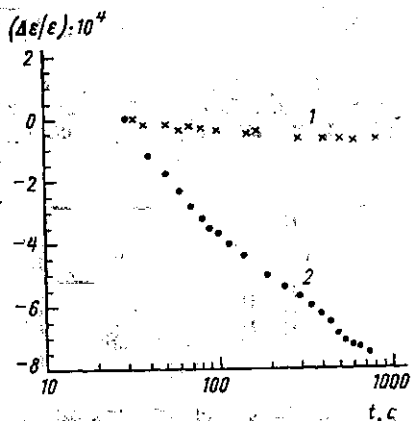


Рис. 2

консоли и вкладышем 3 из плавленого кварца, верхняя поверхность которого покрывалась тонким слоем серебра. Проводящие поверхности консоли и вкладыша образовывали электрическую емкость, которая включалась в состав колебательного контура. По изменению его резонансной частоты, измеряемой специальной электронной следящей системой, определялось изменение величины емкостного зазора.

Под действием сосредоточенной нагрузки в консоли образуются деформации растяжения-сжатия, линейно распределенные по ее объему. Деформированное состояние образца характеризовалось средним значением абсолютной величины деформации, которое рассчитывалось по известным формулам теории уругости, величине нагрузки и значению модуля Юнга материала. Таким образом осуществлялась калибровка, т. е. устанавливалась количественная связь между величиной деформации консоли и изменением резонансной частоты колебательного контура.

Релаксационные кривые для деформации регистрировались в течение времени $t \approx 10^3$ с после нагружения образца, а также после снятия нагрузки. Минимальная величина деформации, которая могла регистрироваться в эксперименте, $\delta \varepsilon = 3 \cdot 10^{-10}$, ограничивалась сейсмическими шумами и дрейфом температуры в процессе измерений. Поэтому образец помещался в термостатируемый объем, точность поддержания температуры составляла $2 \cdot 10^{-2}$ К, измерения производились при температуре $T = 303$ К.

На рис. 2 приведены зависимости от времени отношения релаксирующей деформации $\Delta \varepsilon(t)$ к упругой ε_0 при нагружении образцов из нержавеющей стали 40ХНЮВИ (1) и дюралюминия Д16 (2). Отметим характерные особенности поведения релаксирующей деформации. При изменении ε_0 от 10^{-6} до 10^{-5} величина отношения $\Delta \varepsilon(t)/\varepsilon_0$ оставалась постоянной в пределах точности измерения (20%). Деформация носила обратимый характер, т. е. образец полностью восстанавливался после разгрузки и при последующих нагружениях повторялась релаксация деформации. Таким образом, для описания релаксации деформации в образцах можно использовать формальную теорию неупругости и модель стандартного линейного неупругого твердого тела. В этой модели неупругое поведение рассматривается как проявление внутренних релаксационных процессов в твердом теле, описываемых релаксационным спектром $X(\tau)$, где τ — время релаксации, и вводится зависящая от времени функция отклика $J(t)$, связывающая механическое напряжение σ и деформацию $\varepsilon(t)$ [3]:

$$\varepsilon(t)/\sigma = J(t) = J_0 + \int_{-\infty}^{\infty} X(\ln \tau) [1 - \exp(-t/\tau)] d \ln \tau. \quad (1)$$

Существует приближенный метод вычисления интеграла (1), впервые предложенный Алфреем и Доти, согласно которому функция, стоящая в квадратных скобках, заменяется ступенчатой функцией, испытывающей скачок от 1 до 0 при $t = \tau$. Тогда приближенное значение функции $X(\ln \tau)$, описывающей релаксационный спектр процесса, можно получить из уравнения

$$dJ(t)/d(\ln t)|_{t=\tau} = X(\ln \tau). \quad (2)$$

В эксперименте наблюдалась логарифмическая зависимость релаксирующей деформации от времени, прошедшего после начала нагружения:

$$\varepsilon(t) = \alpha \varepsilon_0 \ln \gamma t. \quad (3)$$

Таким образом, можно заключить, что при малых деформациях даже для таких сложных структур, как поликристаллические сплавы металлов, при комнатных температурах наблюдается характерная логарифмическая зависимость ползучести от времени, которой соответствует равномерный спектр времен релаксации в диапазоне $10^2 \text{ с} < \tau < 10^3 \text{ с}$.

Авторы благодарны В. Б. Брагинскому за внимание к работе и полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Писаренко Г. С., Стрижало В. А. Экспериментальные методы в механике деформируемых твердых тел. Киев, 1986. [2] Кеннеди А. Дж. Ползучесть и усталость в металлах. М., 1965. [3] Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. М., 1975.

Поступила в редакцию
17.01.89.