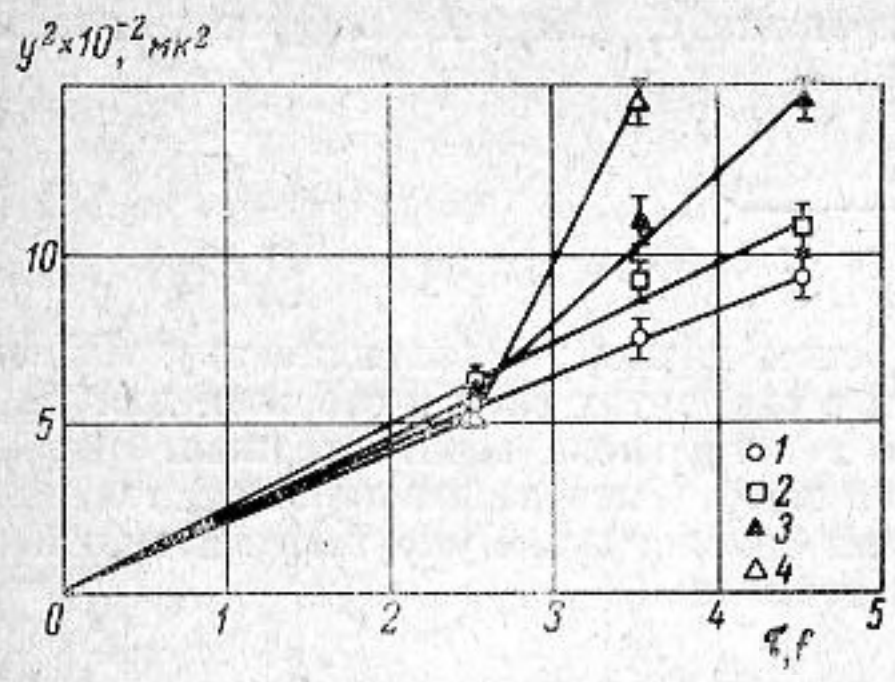
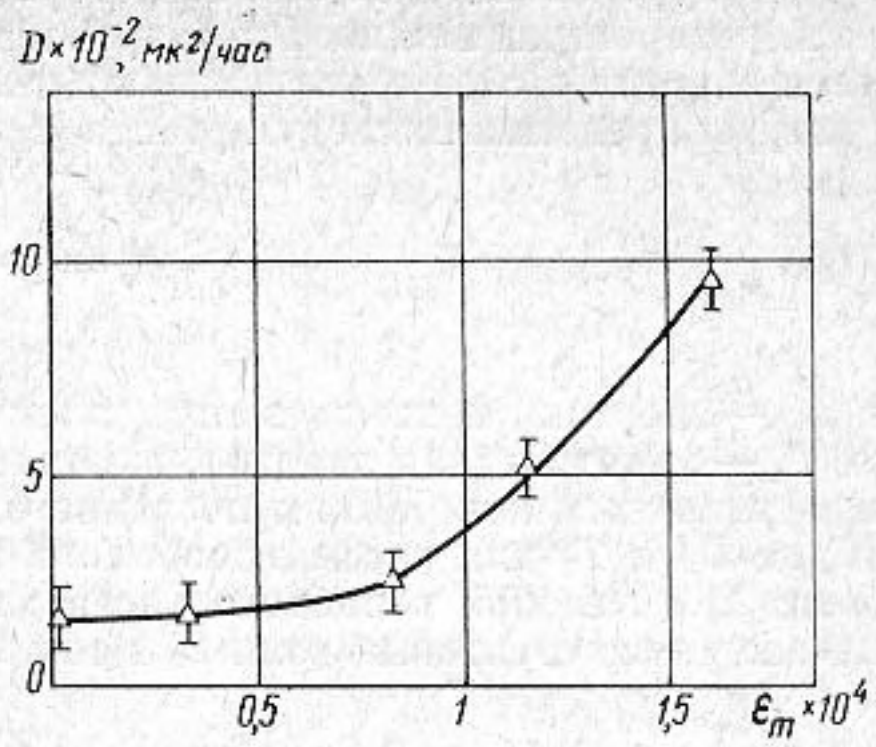


Фиг. 2



Фиг. 3

концентрации вакансий в озвучиваемых образцах по сравнению с термодинамически равновесной в контрольных образцах, по всей вероятности, и приводит к наблюдаемому ускорению диффузии, как это предполагают при объяснении ускорения диффузии в металлах при знакопостоянной пластической деформации [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. A. C. Damask, G. J. Dienes. Point defects in metals, New York, 1963. (пер. А. С. Дамаск и Д. Динс. Точечные дефекты в металлах. М., «Мир», 1966).
2. С. Д. Герцрикен, И. Г. Полоцкий и др. Влияние ультразвука на самодиффузию кадмия. Сб. научных трудов Института металлофизики АН УССР, Изд-во АН УССР, Киев, 1963, 17, 19—23.
3. B. F. Walker, V. A. Johnson, W. C. Hahn, J. D. Wood. A study of the effects of ultrasonics on diffusion. Trans. Metall. Soc., AIME, 1968, 242, 7, 1233—1236.
4. А. В. Кулемин, А. М. Мицкевич. Диффузия в системе Cu — Zn при действии знакопеременных деформаций. Докл. АН СССР, 1969, 189, 3, 518—520.
5. В. Бугаков, Д. Глускин. Природа фаз, образующихся при взаимной диффузии Cu — Zn и Fe — Zn и кинетика их роста. Ж. техн. физ., 1936, 6, 2, 263—267.
6. А. В. Кулемин. Датчик для измерения колебательных смещений. Сб. «Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов», Изд-во НИИМаш, М., 1969, 20—23.
7. J. Friedel. Dislocations. Oxford — London — Paris, 1964 (пер. Ж. Фридель, Дислокации. М., «Мир», 1967).

Центральный н.-и. институт
черной металлургии им. И. П. Бардина
Москва

Поступило в редакцию
11 октября 1969 г.

УДК 534.113

ДЕМПФИРОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СТЕРЖНЯХ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

А. С. Никифоров

На практике иногда возникает необходимость в демпфировании упругих колебаний в стержневых структурах путем включения в них вязко-упругих элементов. Применительно к изгибным колебаниям такого рода структур подобная задача рассмотрена в работе [1]. Представляет интерес исследовать также демпфирование крутильных колебаний стержневых структур.

Ограничим нашу задачу рассмотрением стержней круглого сечения и определим коэффициент потерь в таких стержнях при нанесении на их поверхность равномерного по толщине слоя из вязкоупругого материала.

При крутильных колебаниях стержня в указанном слое образуются сдвиговые волны, распространяющиеся в направлении толщины слоя h_2. Возникающие при этом потери энергии в слое обусловливают демпфирование структуры. Коэффициент потерь структуры представим, следуя работе [2], в виде

$$\eta = \frac{D_0}{2\pi(T_1 + T_2)}, \tag{1}$$

где D_0 — энергия, поглощаемая в элементе слоя длиной dx за половину периода, T_2 и T_1 — кинетическая энергия, накопленная в элементах слоя и стержня длиной dx при крутильных колебаниях последнего. Ось x направлена вдоль стержня. Выражения для D_0 и T_2 для рассматриваемого случая могут быть взяты непосредственно из работы [2] с заменой волнового числа для волн сжатия вязко-упругого материала на волновое число сдвиговых волн k_c в том же материале:

$$D_0 = \frac{2\pi^2\eta_2 h_2\theta^2 R_1^3\omega^2\rho_2}{\cos 2\nu - \operatorname{ch}\eta_2\nu}\left(\frac{\operatorname{sh}\eta_2\nu}{\eta_2\nu} - \frac{\sin 2\nu}{2\nu}\right) dx, \tag{2}$$

$$T_2 = \frac{\pi\rho_2\omega^2 h_2\theta^2 R_1^3}{\cos 2\nu - \operatorname{ch}\eta_2\nu}\left(\frac{\sin 2\nu}{\eta_2\nu} + \frac{\operatorname{sh}\eta_2\nu}{2\nu}\right) dx, \tag{3}$$

где η_2, ρ_2 — коэффициент потерь и плотность вязкоупругого материала, R_1 — радиус стержня, ω — круговая частота, $\nu = k_c h_2$, θ — угол поворота сечения стержня, $\eta_2^2 \ll 1$.

Величина T_1 для элемента стержня длиной dx в рассматриваемой задаче может быть вычислена как

$$T_1 = \frac{1}{2}\rho_1\omega^2\theta^2 I_1\, dx, \tag{4}$$

где ρ_1 — плотность материала стержня, I_1 — полярный момент инерции сечения стержня. Используя формулы (1) — (4), находим

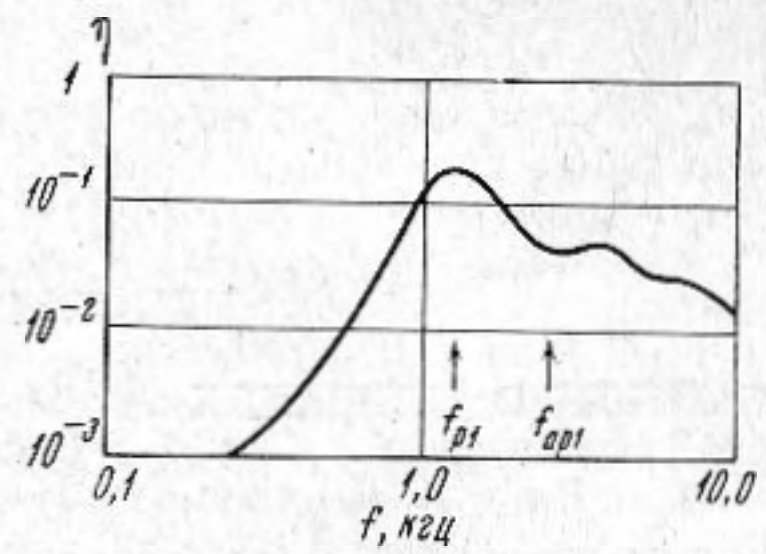
$$\eta = \eta_2\frac{2\operatorname{sh}\eta_2\nu - \eta_2\sin 2\nu}{2\operatorname{sh}\eta_2\nu + \eta_2\sin 2\nu + \sigma\nu\eta_2(\cos 2\nu + \operatorname{ch}\eta_2\nu)}, \tag{5}$$

где $\sigma = \rho_1 I_1 / \pi\rho_2 h_2 R_1^3$.

Анализ этой формулы показывает, что на низких частотах ($k_c h_2 \ll 1$) величина η растет с частотой как $\eta \approx \dfrac{\eta_2\nu^2}{3\left(1+\dfrac{\sigma}{2}\right)} = \dfrac{\eta_2 h_2^2\omega^2}{3c_c^2\left(1+\dfrac{\sigma}{2}\right)}$

где c_c — скорость сдвиговых волн в слое. При достижении первого резонанса (по толщине h_2 укладывается четверть длины волны λ_{c_2}) коэффициент потерь η достигает максимальной величины:

$$\eta_{max} \approx \frac{\eta_2}{1 + 0{,}615\sigma\eta_2^2}. \tag{6}$$



При дальнейшем росте частицы η убывает, проходя на резонансах и антирезонансах слоя через максимумы и минимумы; на частотах, где $k_c h_2 \gg 1$, $\eta \approx \dfrac{2}{\sigma\nu} = \dfrac{2c_c}{\sigma\omega h_2}$.

Анализ приведенных выражений показывает, что на частотах ниже первого резонанса слоя по отношению к толщинным сдвиговым волнам величина η резко падает. Поэтому для того, чтобы обеспечить эффективное демпфирование крутильных колебаний стержня описанным выше способом в более широком диапазоне частот, необходимо либо увеличивать толщину слоя, либо применять по возможности мягкий вязко-упругий материал.

Произведем оценку полученных результатов применительно к стальному стержню с сечением радиусом $R_1 = 5$ *см*. При нанесении на монолитный стержень слоя из вязко-упругого материала толщиной 2 *см* ($\eta_2 = 0{,}6$; $h_2 = 2$ *см*, $\rho_2 = 1$, $\mu_2 = 10^8$ *дин/см*^{2}) из (6) получаем $\eta_{max} = 0{,}26$. Частотная характеристика коэффициента потерь

для рассматриваемого примера, вычисленная по формуле (5), приведена на фигуре. Там же указаны первые резонансная и антирезонансная частоты слоя.

Отсюда следует, что мягкие вязко-упругие материалы эффективно демпфируют крутильные колебания стержней, причем эффективное демпфирование имеет место начиная с частоты первого резонанса слоя материала по отношению к толщинным сдвиговым волнам.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Ungar. Loss factors of viscoelastically damped beam structures. J. Acoust Soc. America, 1962, 34, 8, 1082—1089.
2. E. Ungar, E. Kerwin. Plate damping due to thickness viscoelastic layers. J. Acoust. Soc. America, 1964, 36, 2, 386—394.

Ленинград

Поступило в редакцию
3 октября 1970 г.

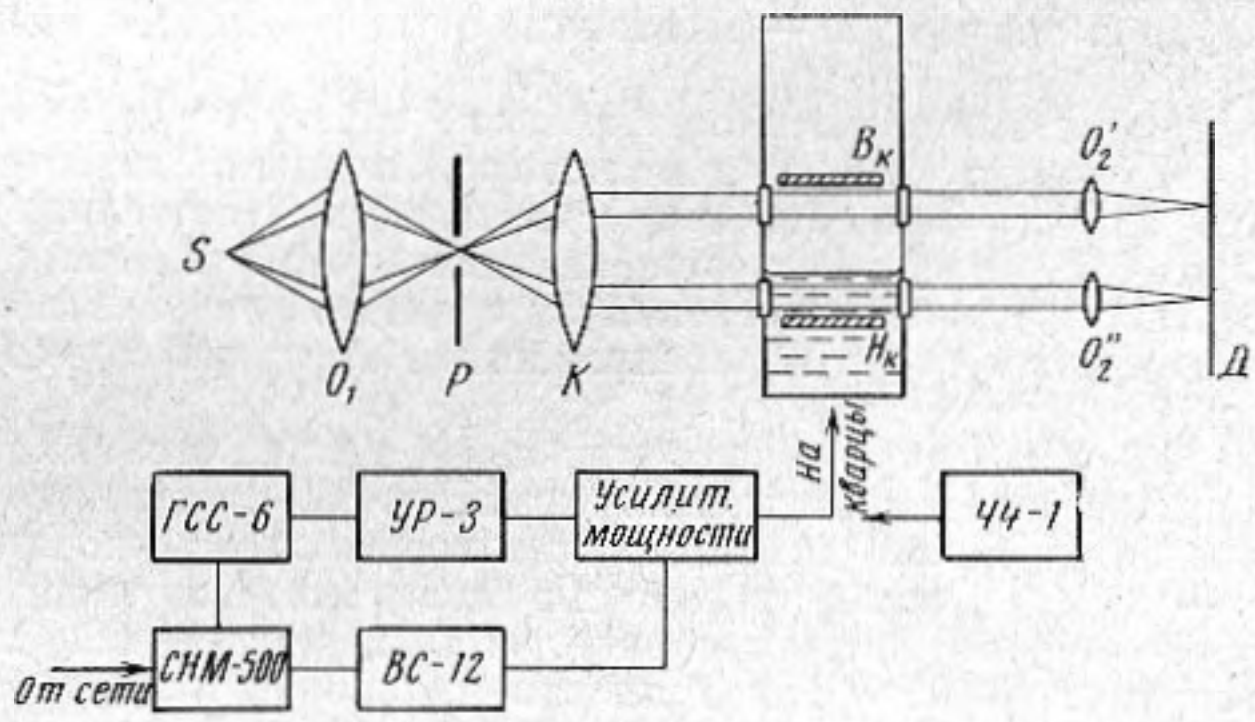
УДК 534—14

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И СЛОЖНЫХ РАСТВОРОВ

В. Ф. Ноздрев, П. С. Петухов

Вблизи критической точки вещества его сжимаемость резко возрастает. Возрастание сжимаемости приводит к возникновению гидростатического эффекта. Вследствие избыточного давления верхних слоев вещества на нижние в камере устанавливается градиент плотности по высоте.

В последнее время заметно возрос интерес к излучению гидростатического эффекта в связи с исследованиями различных свойств индивидуальных веществ и их растворов в критической области. Исследовано влияние гидростатического эффекта на измерения теплоемкости C_v в критической области чистого вещества [1]. Изучалось влияние гидростатического эффекта на величину плотности и коэффициента преломления света в ряде бинарных систем вблизи критических точек жидкость — пар [2—4]. Аналогичное исследование выполнено в работе [5]. Рассмотрено влияние силы тяжести на значение температуры исчезновения мениска в замкнутых бинарных смесях [6]. Опубликован ряд теоретических работ, посвященных изучению гидростатического эффекта в индивидуальных веществах [7, 8] и смесях [9—11].



Фиг. 1

В перечисленных выше экспериментальных работах для исследования распределения плотности в жидкой фазе по высоте камеры использовался преимущественно метод калиброванных поплавков. В ряде случае использовался также метод измерения оптического коэффициента преломления. Представляет несомненный интерес использование в тех же целях акустических методов, в частности, измерение скорости распространения ультразвука в вертикальном звуковом пучке, пронизывающем автоклав. Мы провели такие исследования в критической области метилового и абсолютированного этилового спиртов, а также в целом ряде многокомпонентных жидких систем.

Суть эксперимента состояла в следующем. В автоклаве (схема установки изображена на фиг. 1) из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т, имеющем две пары противо-