

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ $20 \div 400$ кГц

А. В. Харитонов

Для изучения природы внутреннего трения в твердых телах, тесно связанного с исследованием структуры и свойств кристаллической решетки, необходимо проведение измерений в широкой области частот. В лаборатории электроакустики Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина) была разработана установка для измерения внутреннего трения и скорости распространения упругих волн в твердых телах в диапазоне частот $20 \div 400$ гец. Общие принципы построения подобных установок и методы измерений рассмотрены в литературе [1—4].

В указанном диапазоне частот многие материалы, особенно монокристаллы, обладают весьма малыми декрементами затухания (величина, обратная механической добротности Q) порядка $10^{-5} \div 10^{-6}$. Основные трудности исследования материалов с малым внутренним трением вызваны рассеянием колебательной энергии образца в элементах аппаратуры и излучением в окружающую среду. Эти потери энергии определяют остаточный декремент затухания установки и тем самым нижний предел измеряемых декрементов. Установки подобного типа, описанные в литературе, имеют остаточный декремент порядка 10^{-5}

и непригодны для исследования материалов с малыми механическими потерями. В нашей установке выбор соответствующей системы крепления образца, методов возбуждения и регистрации колебаний и помещение образца «в вакуум» позволили снизить остаточный декремент установки до величины меньшей 10^{-6} .

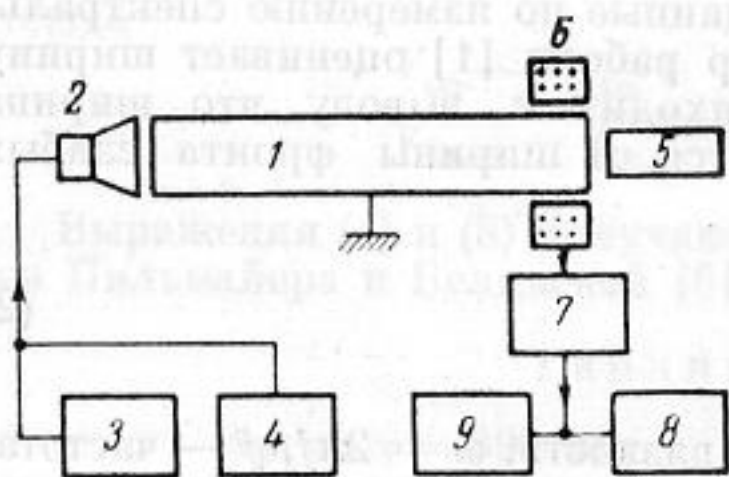
Аппаратура предназначена для исследования материалов с малым внутренним трением $Q^{-1} = 10^{-2} \div 10^{-6}$. Блок-схема установки представлена на фиг. 1. Образец

исследуемого материала *1* в виде сплошного цилиндра крепится в установке точно в средней узловой плоскости при помощи проволочного треугольника, растягиваемого за углы (см. фиг. 2). Этот способ крепления, вместо известного крепления в остриях тонких игл, позволил снизить остаточный декремент не менее чем в десять раз.

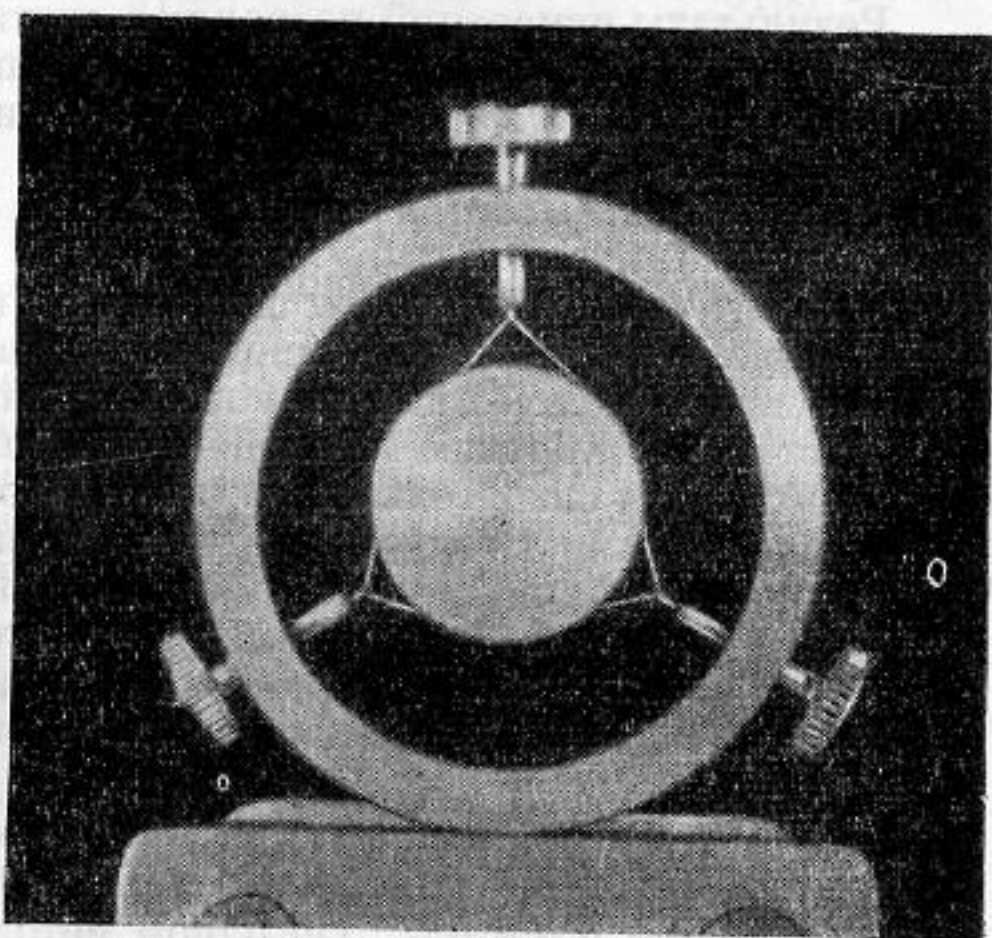
Возбуждение продольных колебаний образца на одной из его нечетных гармоник осуществляется пондеромоторными силами плоского конденсатора, образованного торцом образца, соединенного с «землей», и электродом 2, соединенным с выходом звукового генератора 3. При исследовании неметаллических материалов торцы образцов покрываются слоем серебра, «заземленного» тонким проводом (0,02 мм). Микрометрический винт позволяет перемещать электрод относительно образца и изменять в широких пределах величину зазора между ними. При измерениях зазор устанавливается равным $0,05 \div 0,1$ мм. Между образцом и электродом не приложено поляризующего напряжения, поэтому частота колебаний образца в два раза выше частоты генератора. Это значительно уменьшает уровень электрических помех на выходе приемного устройства с узкой полосой пропускания.

Звуковой генератор типа ЗГ-12 несколько модернизирован с целью повышения стабильности частоты и плавности настройки. Частота генератора измеряется гетеродинным волномером 4 типа 528.

При исследовании ферромагнитных материалов регистрация колебаний образца осуществляется электродинамическим методом, получившим в литературе название метода вихревых токов. При колебаниях образца в поле цилиндрического постоянного магнита 5 в образце (или в слое серебра для неметаллических материалов) возникает система вихревых токов с осью симметрии, совпадающей с осью образца. Эти токи вызывают в приемной катушке 6 появление э. д. с., величина которой пропорциональна колебательной скорости образца. В случае ферромагнитных материалов



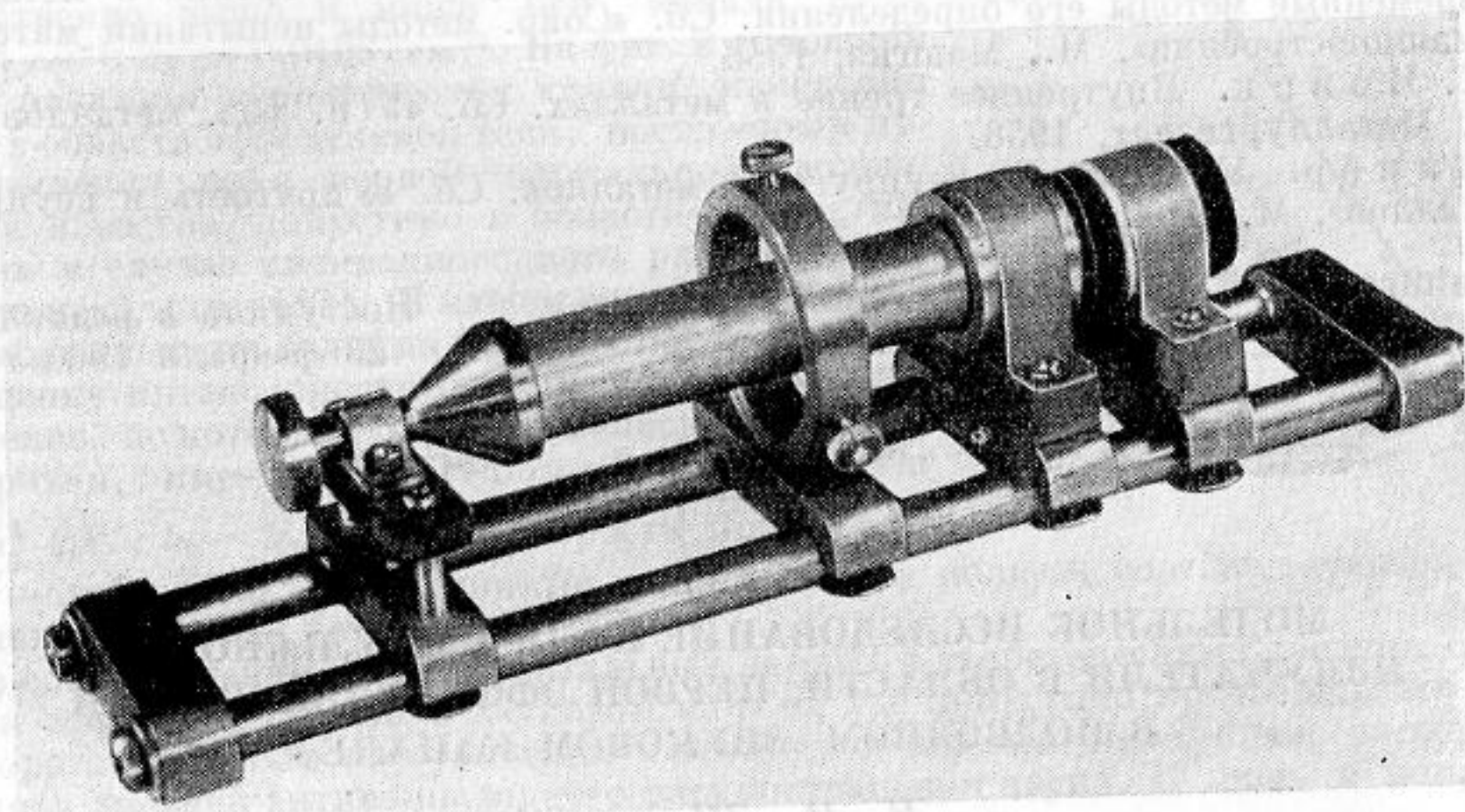
Фиг. 1



Фиг. 2

латунное кольцо, в котором закреплены растяжки проволоочного треугольника (см. фиг. 2), заменяется кольцом из титаната бария. Это кольцо служит приемником радиальных колебаний образца, которые всегда имеют место при продольных колебаниях и максимальны в узловых плоскостях. Чувствительность этого метода, по сравнению с электродинамическим, в несколько раз ниже. Электрический сигнал поступает на супергетеродинный усилитель 7 с полосой пропускания $\Delta f = 500$ гц и с коэффициентом усиления $K = 10\,000$. Выход усилителя подключен к вольтметру 8 типа МВЛ-2М и к осциллографу 9 типа ЭНО-1.

Образец вместе с системой крепления, возбуждающий электрод, приемная катушка и магнит монтируются на двух параллельных стержнях, вдоль которых они могут перемещаться (фиг. 3), и помещаются в вакуум при давлении $10^{-2} \div 10^{-3}$ мм рт. ст.



Фиг. 3

Измерение декремента затухания выполняется двумя способами. Для $Q^{-1} > 10^{-4}$ определяется ширина резонансной кривой на уровне 0,7 и величина декремента рассчитывается по известной формуле $Q^{-1} = \Delta f / f_0$, где f_0 — резонансная частота стержня, Δf — ширина резонансной кривой. Для $Q^{-1} < 10^{-4}$ используется метод затухания свободных колебаний образца. Одновременно с выключением напряжения генератора запускается ждущая развертка осциллографа и на экране трубки с большим послесвечением наблюдается процесс спада амплитуды колебаний образца. Декремент вычисляется по формуле $Q^{-1} = \ln(u_1/u_2) / \pi f_0 t$, где t — время, за которое амплитуда колебаний уменьшилась от начальной величины u_1 до величины u_2 . Начальная амплитуда u_1 устанавливается в пределах линейного участка амплитудной характеристики усилителя осциллографа. Точность измерения декремента затухания порядка 5%.

Скорость распространения продольных волн в стержне определяется по формуле $c = 2lf_0/n$, где l — длина стержня, n — номер гармоники. Точность измерения скорости определяется в основном точностью измерения длины стержня и параллельностью его торцов, так как точность измерения резонансной частоты не ниже 0,02%.

Аппаратура позволяет проводить измерения в широком диапазоне амплитуд деформаций образца. Абсолютная величина амплитуды деформации может быть отсчитана по шкале вольтметра (фиг. 1, 8) после предварительной калибровки приемного тракта. При калибровке зазор увеличивается до $0,5 \div 1$ мм с тем, чтобы его величину можно было достаточно точно определить по нониусу микрометрического винта. Образец последовательно возбуждается на всех используемых гармониках, отсчитываются показания вольтметра на резонансах и определяются декременты затухания образца. Резонансные величины амплитуд деформации рассчитываются по формуле $e_0 = u_m^2 / 8\pi^2 E d^2 Q^{-1} n$, где u_m — амплитуда напряжения генератора, E — модуль Юнга материала образца, d — величина зазора. Отношения показаний вольтметра к рассчитанным амплитудам деформации определяют чувствительность приемного тракта при работе с данным образцом на данных частотах. Все дальнейшие измерения проводятся при неизменном положении образца относительно магнита и приемной катушки.

Наименьшая амплитуда деформации, регистрируемая приемным устройством с достаточно высоким отношением сигнал/помеха, по порядку величины равна 10^{-8} . Максимальная амплитуда деформации, которая может быть получена в образце, определяется допустимой величиной напряженности электрического поля в зазоре и оценивается по приведенной выше формуле для амплитуд деформаций при подстановке в нее соответствующих величин. В алюминиевых образцах при работе на основной час-

тоте удавалось получать амплитуду деформации, равную 5×10^{-5} , при этом декремент затухания был равен 8×10^{-6} .

При помощи описываемой аппаратуры изучалось внутреннее трение в алюминии, магнии и меди. Измерения указывают на слабую частотную зависимость внутреннего трения в изучаемом диапазоне частот и на весьма малую его величину для алюминия и магния ($Q^{-1} < 10^{-5}$). Наименьший декремент затухания ($Q^{-1} = 10^{-6}$) измерен в отожженном поликристаллическом алюминии высокой чистоты (99,99%).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Коротков. Динамические методы измерений модулей упругости. Завод. лаборат., 1956, 1, 98—105.
2. А. Г. Рахштадт, М. А. Штрель. Внутреннее трение в металлах и современные методы его определения. Сб. «Совр. методы испытаний материалов в машиностроении», М., Машгиз, 1956.
3. А. С. Новик. Внутреннее трение в металлах. Сб. «Усп. физ. металлов», т. 1, М., Metallurgizdat, 1956.
4. К. Зинер. Упругость и неупругость металлов. Сб. «Упругость и неупругость металлов», М., ИЛ, 1954.

Ленинградский электротехнический институт
им. В. И. Ульянова (Ленина)

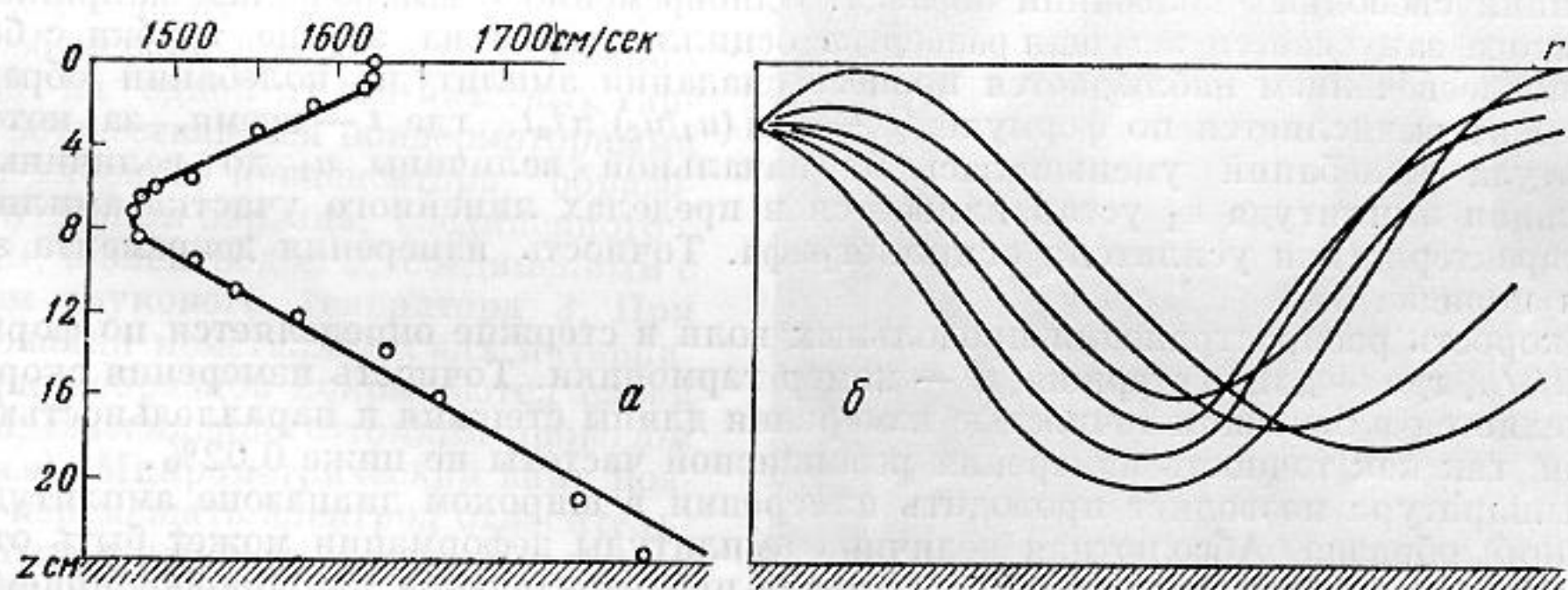
Поступила в редакцию
23 февраля 1960 г.

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ОБЛАСТИ ПЕРВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕНИ В ПОДВОДНОМ ЗВУКОВОМ КАНАЛЕ

И. И. Шмелев

В настоящей заметке, в дополнение к ранее опубликованной работе [1], экспериментальные значения амплитуды звукового импульса в области первой эффективной тени, при наличии подводного звукового канала, сравниваются с теоретическими.

Типичный для нашего эксперимента закон распределения скорости звука по глубине и его аппроксимация для расчета изображен на фиг. 1, а (сплошной линией). На фиг. 1, б схематически показана соответствующая картина звуковых лучей.



Фиг. 1

Дальнейшей естественной границей эффективной тени является каустика, которая находится как огибающая лучей, вышедших на уровень измерения после рефракции ниже оси канала.

Среда указанного типа создавалась методом, описанным в предыдущей работе. Измерения проводились с помощью источника звука, обладавшего широкой характеристикой направленности (угол раствора главного лепестка 120°). Длительность импульсов при различных частотах заполнения (0,4; 1 и 2,5 мГц) выбиралась так, чтобы в импульсе укладывалось 10—20 периодов высокой частоты, и изменялась от 8 до 40 мксек.

Метод приема звука и регистрации сигналов, а также заглушение дна и стенок ванны описаны в работе [1].

На фиг. 2 приведен, в качестве примера, один из полученных графиков, показывающих звуковое поле в области эффективной тени и вблизи каустики. По оси ординат отложен логарифмический уровень интенсивности в децибелах, по оси абсцисс — Δr — горизонтальное расстояние от точки приема до ближней границы тени. При посылке