

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.М. Аржавитин, В.А. Финкель, Ю.Н. Шахов

*Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”
г. Харьков, Украина, E-mail: finkel@kipt.kharkov.ua*

Описана созданная установка для измерения низкочастотного внутреннего трения (ВТ) при температурах $77,3 < T < 300$ К, отличающаяся простотой конструктивного исполнения, компактностью и высокой точностью измерений. Приведены низкотемпературные спектры ВТ поликристаллического редкоземельного металла Dy, полученные с помощью созданной установки.

Интерес к изучению низкочастотного (≤ 100 Гц) ВТ при низких температурах обусловлен рядом причин. Кроме традиционных для метода ВТ задач физики твердого тела и материаловедения (дефекты в кристаллах, процессы старения сплавов, структурные фазовые переходы и т.п.), существует и круг специфических физических задач, для решения которых необходимо проводить измерения низкочастотного ВТ при низких температурах. Речь идет об изучении низкотемпературных фазовых переходов (магнитных, электронных, сегнетоэлектрических, сверхпроводящих и др.), вихревых структур в сверхпроводниках, пиннинга магнитного потока в сверхпроводниках и ферромагнетиках и т. д.

Отметим сразу же, что, как правило, изучение релаксационных свойств твердых тел при низких температурах проводят в высокочастотном ($\sim 1 \dots 10$ МГц) диапазоне (см., напр., [1-3]). Это обстоятельство во многом связано с трудностью создания низкотемпературных приборов для измерения ВТ, так как установки для измерения низкочастотного внутреннего трения содержат движущиеся механические части, что резко увеличивает габариты измерительного модуля и рабочего объема, и число подобных приборов относительно невелико (см., напр., [4-7]).

В этой связи разработка достаточно простой, компактной и экономичной установки для измерения низкочастотного внутреннего трения в диапазоне температур $77,3 < T < 300$ К, безусловно, актуальна. Разработке и созданию подобной установки посвящена настоящая работа.

На рис.1 изображена структурная схема установки для изучения низкочастотного ВТ при низких температурах. Основное внимание при создании данной установки уделялось миниатюризации измерительного модуля при сохранении высокой чувствительности и точности. Измерительный модуль представляет собою прямой маятник, в котором возбуждение и регистрация резонансных колебаний осуществляется посредством электромагнита и индуктивного датчика соответственно. Чтобы минимизировать электромагнитные наводки в регистрирующем датчике от раскачивающего электромагнита, датчик и электромагнит разнесены в пространстве измерительного модуля (см. рис.1) (габаритные раз-

меры указаны в миллиметрах). С той же целью между ними устанавливается двойной магнитный экран из фольги магнитно-мягкого сплава пермаллой 79НМ, а сам датчик экранирован от электромагнитных наводок тонкой ($\sim 0,1$ мм) фольгой из того же сплава. Ею обклеена наружная поверхность датчика, за исключением небольшого входного отверстия во внутреннее пространство датчика, в цилиндрическом объеме которого колеблется сердечник из магнитно-жесткого ферромагнетика. В качестве такового ферромагнетика в установке использовался SmCo_5 .

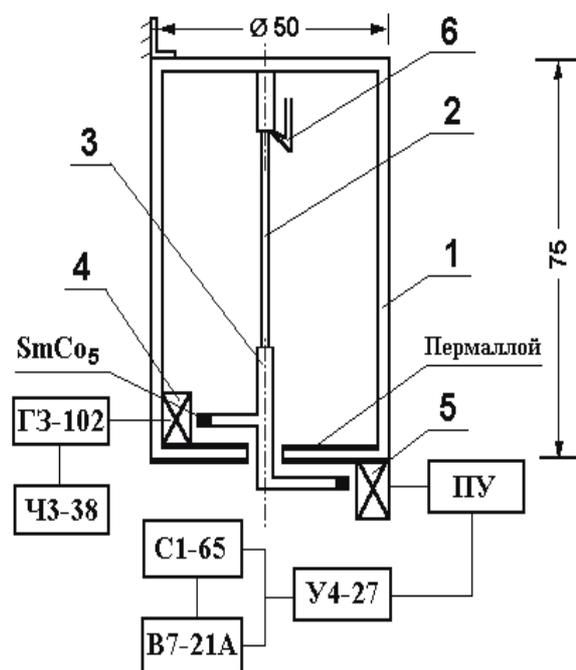


Рис. 1. Блок-схема измерительного модуля

В каркасе измерительного модуля 1 монтируется образец 2 размером $\sim 1 \times 1 \times 10$ мм. Образец закрепляется с помощью механического зажима. К нижнему, свободному концу образца крепится легкая титановая траверса 3, посредством которой образец электромагнитом 4 приводится в колебательное движение. На нижнем конце траверсы крепится также

подвижная часть индуктивного датчика 5, служащего для измерения амплитуды и частоты колебаний образца. Индуктивный датчик относится к скоростному типу, когда воспроизводимый сигнал пропорционален скорости отклонения колеблющегося магнитно-жесткого сердечника. Поэтому амплитудные искажения прежде всего для рабочих амплитуд колебаний образцов $\gamma_0 \leq 10^{-5}$ здесь невысоки. Индуктивность регистрирующей катушки датчика составляет 200 мГн. Электрические колебания в раскачивающем электромагните возбуждаются при помощи генератора синусоидальных колебаний ГЗ – 102. Механические колебания образца приводят к появлению ЭДС в датчике, далее сигнал усиливается последовательно соединёнными предварительным усилителем (ПУ) и усилителем мощности У4 – 27. Амплитуда колебаний γ_0 измеряется милливольтметром В7 – 21А, а частота колебаний f – частотомером ЧЗ – 38. Точность измерений амплитуды γ_0 и частоты f колебаний составляет 1 и 10^{-2} % соответственно.

Как показано на общей схеме установки для измерения ВТ (рис. 2), измерительный модуль жестко крепится в корпусе медного чехла-термостата и прочно удерживается там силой трения между корпусами измерительного модуля и чехла-термостата. Эта мера позволяет минимизировать паразитические вибрации миниатюрного измерительного блока и регистрировать только колебания исследуемого образца. Сборка "измерительный модуль – медный чехол" опускается в медный сосуд Дьюара, наполняемый жидким азотом. Жидкий азот постепенно испаряется и температура исследуемого образца плавно повышается до комнатной. Температура образца измеряется при помощи термопары медь – константан (6) (см.рис.1) с помощью милливольтметра В7–21А. Чувствительность измерительной части $Q_0^{-1} \approx 5 \cdot 10^{-6}$.

Возможности созданной установки иллюстрируют полученные с её помощью температурные зависимости низкочастотного ВТ и модуля Юнга редкоземельного металла диспрозия (рис.3). Магнитные свойства диспрозия изучены наиболее полно по сравнению с другими редкоземельными элементами. В классических экспериментах по рассеянию нейтронов высокочистыми монокристаллами Dy надёжно установлено, что при $T_N \approx 178$ К Dy претерпевает фазовый переход II рода "парамагнетизм – геликоидальный антиферромагнетизм" без изменения симметрии гексагональной плотноупакованной кристаллической решетки [8]. В свою очередь, на кривой низкочастотного ВТ $Q^{-1}(T)$ отчетливо виден "размытый" максимум А при $T_A \approx 176$ К (см. рис.3). На температурной зависимости модуля Юнга $E \sim f^2$ при $T_A \approx 176$ К имеется "провал" (см. рис.3, врезка). Характерные аномалии решёточных свойств (Q^{-1} и E) диспрозия при температуре $T_A = 176$ К устойчиво воспроизводились во всех шести проведенных сериях измерений внутреннего трения и на температурной оси аномалии Q^{-1} и E оказались расположенными вблизи температуры Нееля $T_N \approx 178$ К монокристаллического диспрозия.

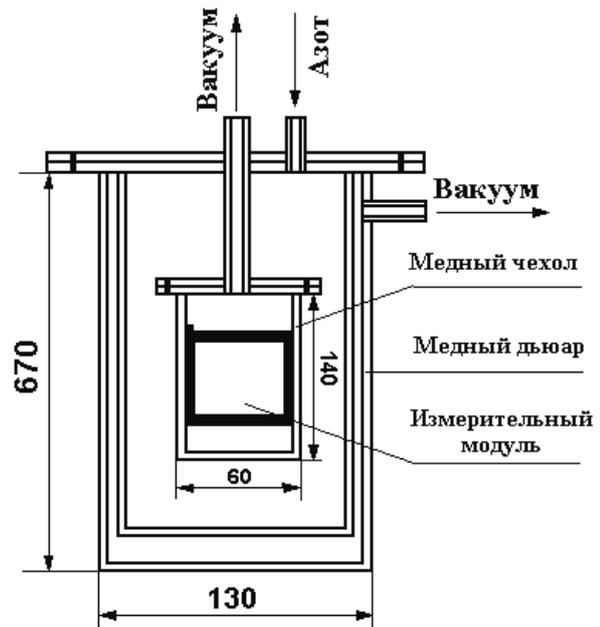


Рис. 2. Общая схема низкотемпературной установки для измерения внутреннего трения

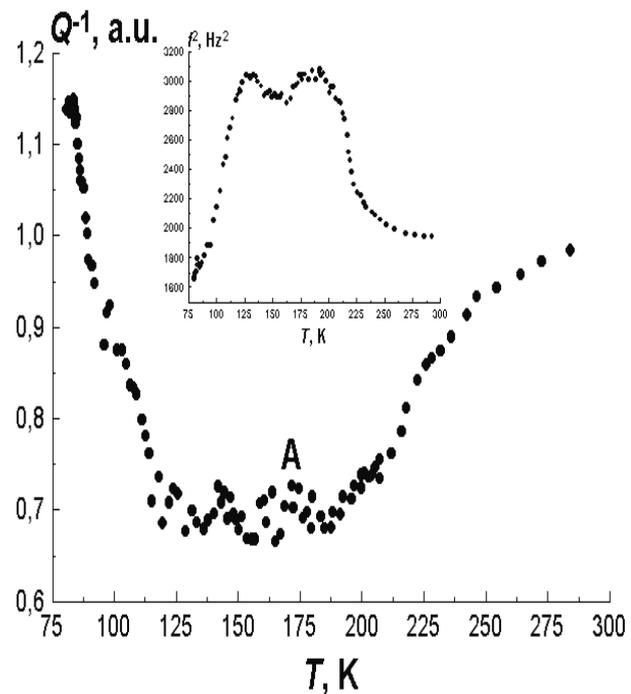


Рис. 3. Внутреннее трение диспрозия. Измерения температурных зависимостей внутреннего трения и модуля Юнга проведены на образце поликристаллического Dy чистотой 99,7 % с остаточным электросопротивлением $RRR = \rho_{273}/\rho_{20} = 14$ в виде проволоки длиной 18 м и диаметром 0,75 мм при нагреве образца со скоростью ≈ 1 %

Таким образом, в настоящей работе описана созданная установка для измерения низкочастотного ВТ при температурах $77,3 < T < 300$ К. Она отличает-

ся простотой конструктивного исполнения, компактностью и высокой точностью измерений ВТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.K.Mukhopadhyay, A.K.Raychaudhuri. A simple vibrating reed apparatus for use at low temperatures // *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 1987, v. 20, p. 507-511.
2. X.N.Ying, Y.N.Huang, Y.N.Wang. A low-temperature internal friction study of Y124 superconductors // *Supercond. Sci. Technol.* 2004, v. 17, p. 374-349.
3. Н.П.Кобелев, Я.М.Сойфер, А.Ф.Гуров и др. Влияние ударного нагружения в *beta*-фазе монокристаллов сплава Cu-Al-Ni на их упругие и неупругие характеристики, измеряемые на частоте 5 МГц // *ФТТ*. 2002, т. 44, в.1, с.78-82.
4. C.L.Snead, J.Bethin. Stress-induced hydrogen reorientation in a bee Nd -50-at.%-V alloy // *Phys. Rev.* 1985. v. B 32, p. 4354-4257.
5. M.Feuerbacher, M.Weller, J.Diehl, K.Urban. Mechanical spectroscopy of Al-Pd-Mn single quasicrystals // *Phil. Mag. Letters.* 1996, v.74, № 2, p. 81-87.
6. В.С.Оковит, Я.Д.Стародубов, Л.А.Чиркина, С.Д.Лавриненко. Влияние магнитных полей на амплитудную зависимость внутреннего трения и модуль сдвига иттриевой керамики в области 4,2-300 К // *ФНТ*. 1994, т. 20, с. 63-70.
7. Б.И. Шаповал, В.А.Финкель, В.Д. Красников. Методика исследования релаксационных и упругих свойств ВТСП в широком температурном интервале // *СФХТ*. 1993, т. 6, с. 767-770.
8. В.А. Финкель. *Структура редкоземельных металлов*. М.: "Металлургия", 1978, 128 с.

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.М. Аржавітін, В.О. Фінкель, Ю.М. Шахов

Описано створену установку для виміру низькочастотного внутрішнього тертя (ВТ) при температурах $77,3 < T < 300$ К, що відрізняється простотою конструктивного виконання, компактністю й високою точністю вимірів. Наведено низькотемпературні спектри ВТ полікристалічного рідкісноземельного металу Dy, отримані за допомогою створеної установки.

APPARATUS FOR MEASUREMENT OF LOW-FREQUENCY INTERNAL FRICTION AT LOW TEMPERATURES

V.M. Arzhavitin, V.A. Finkel, Yu.N. Shakhov

The created apparatus for measurement of low-frequency internal friction (IF) is described at temperatures $77.3 < T < 300$ K, distinguished by simplicity of a design, compactness and high accuracy of measurements of IF. Low temperature IF spectra of polycrystalline rare earth metal Dysprosium, received with the help of the created apparatus is resulted.