

И. З. Шарипов, Х. Я. Мулюков

ДИЛАТОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ ОБРАЗЦОВ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

Описана относительно простая установка, предназначенная для измерения теплового расширения образцов малых размеров. Установка позволяет проводить измерения для образцов небольших размеров (8 – 10 мм) при нагреве до 800 К. Абсолютная погрешность измерения изменений длины образца составляет 0.2 мкм. Установка была использована для измерения термического расширения инварных сплавов и дилатации сплавов с памятью формы. *Термическое расширение; дилатометр; индуктивный датчик перемещения; линейный дифференциальный трансформатор*

Термическое расширение твердых тел имеет чрезвычайно большое значение в технике. Оно приводит к изменению размеров деталей конструкций при их нагреве или охлаждении, вследствие чего возможно возникновение механических напряжений на стыках деталей, заедание подвижных элементов и др., которые могут нарушать нормальное функционирование устройств или даже приводить к их разрушению. Для применения в точных механизмах и в измерительной технике разработаны специальные сплавы с аномально низкими значениями коэффициента теплового расширения – инвары. Однако природа инварного эффекта до сих пор до конца не выяснена. Для более полного понимания механизма теплового расширения представляет большой интерес его изучение в образцах с нанокристаллической структурой, например, получаемых методом интенсивной пластической деформации. Подобные исследования затруднены тем, что получаемые образцы имеют небольшие размеры (8 – 10 мм). Так, традиционный механический метод измерения, описанный в [1], позволяет измерять дилатацию на образцах большой длины (~10 см). Измерения интерферометрическим методом или проволочным тензометром при высокой чувствительности и возможности измерения малых образцов весьма трудоемки [2]. При использовании емкостного измерителя, аналогичного описанному в работе [3], необходимо обеспечивать параллельность пластин при перемещении, что приводит к усложнению кинематической схемы. Кроме того, емкость нелинейно связана с перемещением, что приводит к необходимости корректного пересчета показаний датчика и затрудняет калибровку измерителя, не позволяя проводить измерения в автоматическом режиме.

Ранее созданная нами относительно простая оптоэлектронная установка использовалась для измерений теплового расширения редкоземельных металлов при охлаждении, в температурном диапазоне от 80 до 300 К. Однако имеющаяся в установке термокамера, представляющая собой сосуд Дьюара, не позволяла проводить измерения при нагревании [4].

Другим недостатком установки является низкая термостабильность фотодиодов, приводящая к дрейфу показаний датчика перемещений. Поэтому для измерения теплового расширения при нагревании образцов нами была сконструирована установка, схема которой изображена на рис. 1. Механическая часть состоит из кварцевой трубки большого диаметра 1, внутри которой помещается трубка меньшего диаметра 2. Трубка 2 подвешена на гибких торсионных пружинах 3 и может легко перемещаться вдоль своей оси. Измеряемый образец 4 зажимается между торцами трубок 1 и 2. Изменение длины образца приводит к перемещению подвижной трубки 2, на противоположном конце которой расположен датчик перемещения 5, выполненный по схеме дифференциального линейного трансформатора [5]. Температура образца измеряется с помощью термопары 7, расположенной в непосредственной близости от образца 4. Для регулирования температуры образца суженная часть трубки 1 помещалась в трубчатую печь 8.

Для функционирования установки к механической части подведены электрические соединения с внешними приборами. Нагрев трубчатой печи осуществляется регулируемым источником тока Б5-54. Для перемагничивания ферромагнитного сердечника 6 на обмотку дифференциального трансформатора подается переменное напряжение с генератора ГЗ-112. Напряжение термопары $U_{тп}$ и выходной сигнал с дифференциального трансформатора $U_{вых}$ по-

ступают на входы двухкоординатного самопишущего потенциометра Н307.

Принцип работы установки следующий. Удлинение образца 4 приводит в движение трубку 2, которая в свою очередь перемещает укрепленный на ней ферромагнитный сердечник 6. Сердечник перемагничивается переменным магнитным полем намагничивающей обмотки, расположенной посередине дифференциального трансформатора. В двух измерительных катушках, расположенных по краям трансформатора, от переменного магнитного поля сердечника наводятся ЭДС индукции. Величина ЭДС на катушках в свою очередь зависит от величины перекрытия обмотками магнитного поля сердечника, т. е. от его положения относительно катушек. Измерительные катушки включены в электрическую цепь встречно друг к другу, поэтому при равных ЭДС на измерительных катушках суммарное напряжение на выходе схемы будет равно нулю. При смещении сердечника вправо перекрытие правой катушки возрастает, а левой уменьшается, что приводит к появлению разностного сигнала на выходе схемы. Важным достоинством такого датчика является его линейность, т. е. разностный сиг-

нал на выходе схемы пропорционален смещению сердечника в широком диапазоне перемещений сердечника.

Температура измерялась термопарой ХА. Для более точного отсчета температуры спай термопары должен располагаться вплотную к образцу, поэтому для изготовления термопары использовались тонкие гибкие проволочки $\varnothing 0,2$ мм, которые подгибались так, чтобы спай касался образца. Кроме того, такая легкая термопара практически безынерционна.

Поскольку напряжения $U_{\text{ТП}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}$ пропорциональны температуре и удлинению образца, на планшете потенциометра сразу получается график зависимости удлинения образца от его температуры, т. е. термическая дилатационная кривая.

Линейность датчика перемещения предельно упрощает процесс калибровки. Для калибровки установки катушки дифференциального трансформатора крепились на подвижном основании, перемещаемом винтом микрометра. Отсчитывая перемещение по микрометру, наносились калибровочные метки на графиках.

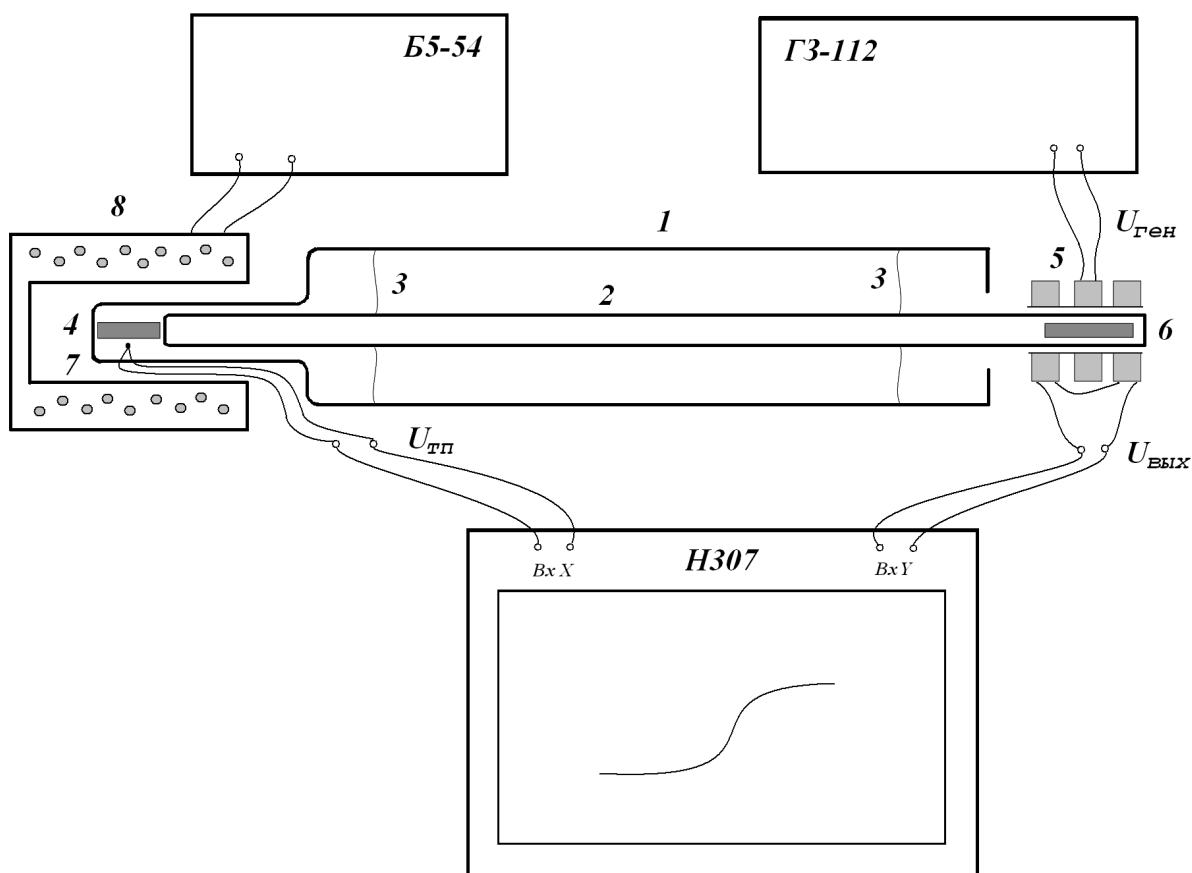


Рис. 1. Схема установки для измерения теплового расширения

Абсолютная погрешность измерения составляла $\approx 0,2$ мкм. Этим же микровинтом дифференциальный трансформатор балансировался на нулевой уровень выходного сигнала перед началом измерений. Линейность датчика сохраняется в диапазоне перемещений до ± 1 мм.

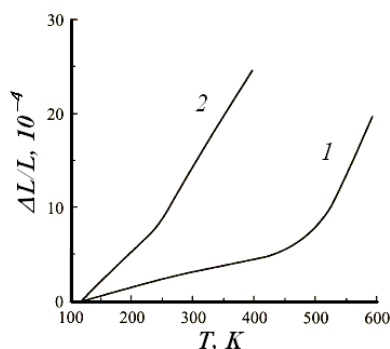


Рис. 2. Графики термического расширения образцов инвара с крупнокристаллической (1) и нанокристаллической (2) структурой

Данная установка использовалась для измерения дилатационных кривых при нагревании и охлаждении инваров и сплавов с памятью формы в различных структурных состояниях. В качестве примера на рис. 2 приведены кривые термического расширения для крупнозернистого (1) и нанокристаллического (2) образцов инвара Fe – 67,0%, Ni – 32,5%, Co – 0,5% [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мильнер Е. С., Боровик А. С. Лекции по магнетизму. Харьков: Изд-во Харьковск. гос. ун-та, 1966. 150 с.
2. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. М.: Мир, 1987. 127 с.
3. Баширов В. З., Кальянов А. П. Дилатометр с емкостным датчиком для исследования термического расширения // Приборы и техника эксперимента. 1989. № 2. С. 223.
4. Шарипов И. З., Мулюков Х. Я. Оптоэлектронная установка для измерения гигантской магнитострикции редкоземельных металлов // Приборы и техника эксперимента. 1996. № 5. С. 143–144.
5. Бриндли К. Измерительные преобразователи. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1991. 113 с.
6. Особенности температурной зависимости теплового расширения и намагниченности насыщения инварного сплава Fe – 67,0%, Ni – 32,5%, Co – 0,5% с нанокристаллической структурой / Х. Я. Мулюков [и др.] // Журнал технической физики. 2002. Т. 72, вып. 7. С. 75–78.

ОБ АВТОРАХ

Шарипов Ильгиз Зуфарович, доц. каф. материаловедения и физики металлов. Дипл. инженер по радиофизике (МГУ, 1985). Канд. физ.-мат. наук по термическ. расширению ферромагнетиков (ИПСМ РАН, 1997). Иссл. в обл. термическ. расширения.

Мулюков Харис Якупович, проф. ИПСМ РАН. Д-р техн. наук по магнитным свойствам ферромагнетиков с нанокристаллическ. структурой (ИПСМ РАН, 1998). Иссл. в обл. магнитных, термических и др. свойств наноматериалов.