

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 539.4

Автоматизированная установка для определения характеристик упругости и неупругости металлов и сплавов

А. Ф. Войтенко, В. А. Стрижало, Е. А. Войтенко

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Предложены метод и автоматизированная установка для определения температурной зависимости характеристик упругости и внутреннего трения металлических материалов. В процессе эксперимента компьютер считывает результаты измерений температуры образца, его резонансной частоты и амплитуды колебаний при заданной температуре. На основании заданных соотношений рассчитываются модули упругости и характеристики внутреннего трения металла при каждой заданной температуре. На примере испытаний стали 012X18H10T показано, что метод обеспечивает получение необычных результатов.

Ключевые слова: модули упругости, коэффициент внутреннего трения, логарифмический декремент колебаний, резонансная кривая, собственная частота колебаний образца.

В настоящее время для определения характеристик упругости и коэффициента внутреннего трения материалов применяются два различных резонансных метода испытаний [1, 2]. Для одного метода характерно использование постоянной температуры образца и переменной частоты возбуждения в нем колебаний, для другого, наоборот, – переменной температуры и постоянной частоты колебаний. Второй метод по сравнению с первым имеет некоторые преимущества, одно из которых заключается в том [1], что резонансная кривая симметрична независимо от коэффициента внутреннего трения материала, т.е. собственная частота колебаний образца, входящая в соотношения для расчета характеристик упругости, точно соответствует частоте его колебаний при максимальной амплитуде, которая пропорциональна обратной величине коэффициента внутреннего трения (добротности) материала. Реализация разработанного метода позволит повысить точность получаемых экспериментальных данных, особенно для материалов с большим коэффициентом внутреннего трения.

Однако, как видно из работы [1], этот метод предполагает ручной режим измерения соответствующих характеристик в течение всего времени испытаний, что ограничивает его применение: испытания могут длиться от 8 до 12 и более часов.

В связи с этим нами разработаны автоматизированная установка и метод определения характеристик упругости и коэффициента внутреннего

трения металлов и сплавов, в основу которого положен известный факт, что образец из металлического материала обладает свойством акустического фильтра, настроенного на его резонансную частоту. При возбуждении колебаний образца с помощью спектра частот, содержащего все его резонансные частоты (так называемый белый шум) в заданном интервале температур, и задании требуемой скорости изменения температуры получаем необходимые данные для расчета характеристик упругости и коэффициента внутреннего трения при заданных температурах. Эти данные (температура образца, его резонансная частота и амплитуда колебаний при текущей температуре) поступают в ПК, который по определенной программе выдает значения характеристик упругости и коэффициентов внутреннего трения, соответствующих задаваемым температурам, и выполняет графические построения.

На рис. 1 приведена блок-схема разработанной автоматизированной установки. Испытуемый образец 3 с возбудителем колебаний 2 и приемником 4 размещают в рабочей камере 1, где он непрерывно нагревается или охлаждается со скоростью, которая позволяет поддерживать температуру во всем объеме образца одинаковой [2] (нами использовался температурный регулятор ТОРТ, разработанный в СКТБ Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины). На возбудитель колебаний подается напряжение от генератора белого шума 6, например, типа Г2-12 через внешний фильтр 5, ограничивающий спектр белого шума частотами, соответствующими изменению модулей упругости в заданном интервале температур. Поскольку на собственной частоте амплитуда колебаний образца максимальна, они передаются на приемник, затем на усилитель 7, например, типа У2-4 и далее на синхронный детектор 8. С последнего напряжение постоянного тока, пропорциональное амплитуде колебаний образца, через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 10 и интерфейс подается на ПК 12, где производятся сбор и обработка экспериментальных данных. С усилителя напряжение подается на преобразователь частота–напряжение 9, далее на АЦП 11 и через интерфейс на ПК.

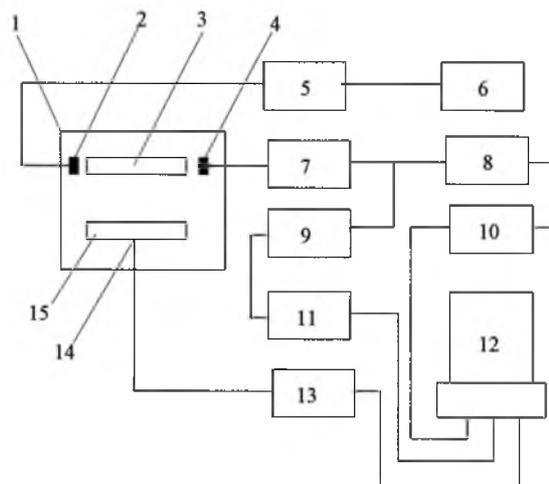


Рис. 1. Блок-схема установки.

Для наблюдения за колебательным процессом к выходу усилителя параллельно можно подключить осциллограф и частотомер.

Кроме испытуемого образца в рабочей камере размещают контрольный образец 15 с термопарой 14, сигнал от которой, пропорциональный температуре образца, подается на АЦП 13 и далее через интерфейс на ПК.

Для получения расчетной зависимости характеристик упругости и коэффициента внутреннего трения от температуры в ПК следует ввести сведения о геометрических размерах образца и его массе (или плотности металла), средний коэффициент линейного теплового расширения $\alpha_{\text{ср}}$ и соответствующие расчетные формулы. Так, например, формула для расчета модуля продольной упругости E (ГПа) в случае испытания цилиндрических образцов при изгибных колебаниях имеет вид [2]

$$E = 1,2619 \cdot 10^{-9} \frac{\rho l^4}{d^2} f^2 K_T C, \quad (1)$$

где ρ – плотность металла, кг/м³; l и d – соответственно длина и диаметр образца, м; f – собственная частота изгибных колебаний образца, Гц; K_T – коэффициент, учитывающий изменение геометрических размеров и плотности образца с изменением температуры (относительно комнатной, при которой определяли размеры образца), $K_T = \frac{1 + 2\alpha_{\text{ср}}\Delta T}{1 + 3\alpha_{\text{ср}}\Delta T}$; C – коэффициент

коррекции, являющийся функцией только отношения d/l и коэффициента Пуассона; для используемых образцов ($d = 8$ мм и $l = 120$ мм) из металлов он не превышает 1,03.

В предлагаемом методе реализуется возможность определения температурной зависимости логарифмического декремента колебаний δ , соответствующего резонансной амплитуде a_0 , через отношение амплитуды a_0 к деформации $a_{\text{ст}}$ от статического действия амплитуды возмущающей силы [3]:

$$\delta = \pi \frac{a_{\text{ст}}}{a_0}. \quad (2)$$

Учитывая, что величина $a_{\text{ст}}$ при неизменном значении амплитуды возмущающей силы пропорциональна квадрату собственной частоты, значение декремента колебаний при заданной температуре $\delta(T)$ можно записать в виде

$$\delta(T) = \delta(T_0) \left[\frac{f(T_0)}{f(T)} \right]^2 \frac{a_0(T_0)}{a_0(T)}, \quad (3)$$

где $\delta(T_0)$ – декремент колебаний при комнатной температуре T_0 ; $f(T_0)$, $f(T)$ – собственная частота колебаний образца при комнатной T_0 и регистрируемой T температурах соответственно; $a_0(T_0)$, $a_0(T)$ – амплитуда резонансных колебаний образца при комнатной и регистрируемой температурах соответственно.

Декремент $\delta(T_0)$ можно определить любым известным методом, описанным, например, в [4]. Введя в ПК его значение и соотношение (3), можно рассчитать логарифмический декремент при заданной температуре $\delta(T)$.

На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость модуля продольной упругости E и логарифмического декремента колебаний δ образцов из стали 012X18H10T в состоянии поставки от температуры.

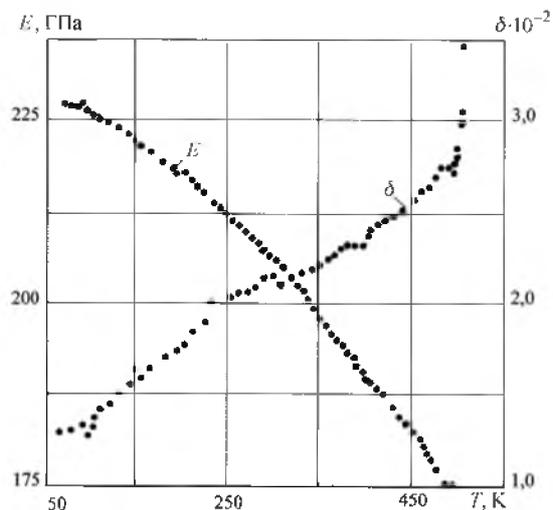


Рис. 2. Температурная зависимость модуля продольной упругости E и логарифмического декремента колебаний δ образцов из стали 012X18H10T в интервале 77...500 К.

Как видно, полученная зависимость модуля продольной упругости не-монотонна и с понижением температуры указанная характеристика может как увеличиваться, так и уменьшаться. Авторами установлено, что чем ближе друг к другу температурные точки, тем больше разброс рассматриваемых величин.

Отметим, что аналогичные результаты для исследуемой стали и других металлов, испытанных по описанной ранее методике [2], принимались за ошибочные, поскольку их связывали с методическими погрешностями: некачественная подвеска образца, возможность его обмерзания в местах подвески и др. Проведенные испытания по предложенной методике показали, что полученные данные достоверны, о чем свидетельствуют результаты, установленные в работе [5] на другом материале и по другой методике (импульсной). Характерно, что они, как и наши результаты, получены при малых интервалах между температурными точками.

Таким образом, разработанные метод и установка для исследования температурной зависимости характеристик упругости и неупругости металлических материалов позволяют изучать их более детально и с меньшими затратами на проведение экспериментальных работ.

Резюме

Запропоновано метод та автоматизовану установку для визначення температурної залежності характеристик пружності і внутрішнього тертя металіч-

них матеріалів. У процесі експерименту комп'ютер зчитує результати вимірювань температури зразка, його резонансної частоти та амплітуди коливань в умовах заданої температури. На основі заданих співвідношень розраховуються модулі пружності та характеристики внутрішнього тертя металу за кожної заданої температури. Показано, що використання запропонованого методу дозволяє отримувати незвичайні результати при випробуваннях сталі 012Х18Н10Т.

1. *Войтенко А. Ф., Новиков Н. В.* Способ определения характеристик упругости и неупругости материалов при непрерывном понижении температуры // Пробл. прочности. – 1969. – № 5. – С. 25 – 26.
2. *Войтенко А. Ф.* Стандартизация испытаний на определение характеристик упругости металлов при низких и повышенных температурах / АН УССР. Ин-т пробл. прочности. – Препр. – Киев, 1990. – 36 с.
3. *Матвеев В. В., Яковлев А. П., Войтенко А. Ф.* Об одной дополнительной возможности при определении характеристик рассеяния энергии материала // Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. – Киев: Наук. думка, 1972. – С. 188 – 191.
4. *Войтенко А. Ф., Баландин Ю. Ф., Шиманский С. Р.* Установка для определения характеристик упругости и неупругости материалов в вакууме при низких температурах // Пробл. прочности. – 1990. – № 9. – С. 94 – 97.
5. *Борисенко В. А., Троянский А. И.* Температурные зависимости скорости распространения продольной ультразвуковой волны в сплавах молибдена и ниобия // Там же. – № 8. – С. 118 – 121.

Поступила 30. 09. 2002