Установка для измерения внутреннего трения в алюминиевых сплавах

Э. Д. Мухамедиев, С. Х. Шамирзаев, Ж. К. Зиёваддинов

Физико-технический институт АН РУз,
ул. Г. Мавлянова, 2Б, г. Ташкент, 700084, Республика Узбекистан, e-mail: jahongirziyo@mail.ru

Создана автоматизированная установка измерения внутреннего трения различных материалов, использующая резонансный принцип возбуждения и детектирования колебаний образца, но не в известном автогенераторном режиме, а в режиме сканирования по частоте возбуждающего тока в катушке. Установка дает возможность оценить реакцию воздействия на образцы различных факторов, таких как облучение, отжиг, механическое нагружение, воздействие жидких металлов и различных химических сред. На амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) алюминиевого сплава В-95 диаметром D = 8 мм, длина которого L_1 = 460 мм, обнаружены два резонансных пика. При уменьшении длины этого образца до L_2 = 350 мм один из резонансных пиков пропадает. Взаимодействие дислокаций с атомами лития, цинка и другими примесями, вводимыми в алюминиевые сплавы, может быть изучено исходя из результатов измерения как амплитудной, так и температурной зависимости внутреннего трения.

УДК 538.915

ВВЕДЕНИЕ

В настоящие время разработаны пленочные датчики накопленной усталостной повреждаемости (ДНУП), которые могут широко применяться для обнаружения деформационной усталости различных объектов, в частности летательных конструкций, мостов, плотин и т.д. [1].

Такие пленочные датчики закрепляются на специально изготовленные несущие подложечные материалы. Для предварительного испытания ДНУП необходимо знать особенности внутреннего трения последних. Однако вопрос о создании метода измерения их внутреннего трения в настоящее время не изучен.

В данной работе нами рассматривались вопросы использования метода частотного сканирования для измерения внутреннего трения различных материалов, на которых базируются ДНУП. Для этих целей разрабатывается автоматизированная установка.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА

Известна установка для определения внутреннего трения образцов в процессе облучения, помещаемых в канал реактора [2, 3]. Она работает в автогенераторном режиме, а частота генерации определяется резонансной частотой образца. Детектирование его колебаний осуществляется частотно-модулированным (ЧМ) детектором с несущей частотой 100 MHz. Модуляция – конденсатором, образованным торцом образца и параллельной ему пластинкой, расположенной на расстоянии 0,025–0,05 мм от его торца. ЧМ приемник, принимающий частотно-модулированный сигнал от детектора, позволяет измерять частоту и амплитуду колебаний образца. Внутреннее трение вычисляется по изменению тока в катушке, возбуждающей колебания образца при стабилизации амплитуды.

В описанной системе не может быть получена форма резонансной кривой на АЧХ. Не обнаруживаются также и возможные дополнительные резонансные пики. Знание же формы кривой дает существенно больше информации о материале образца. Для получения такой информации создана автоматизированная система измерения внутреннего трения (рис. 1), использующая тот же принцип возбуждения и детектирования колебаний образца, но не в автогенераторном режиме, а в режиме сканирования по частоте возбуждающего тока в катушке. Основу сканирующей системы составляют программно-управляемые генератор синусоидального сигнала и усилитель мощности. Генератор позволяет перекрыть полосу частот от 25 Гц до 100 кГц двумя диапазонами (25 Гц–10 кГц и 500 Гц–100 кГц) с шагом по частоте 0,04 Гц и 0,4 Гц соответственно. При этом для точного измерения частоты используется частотомер с разрешением до 0,125 Гц. Это дает возможность устранить те неточности, которые возникают в результате временного и температурного дрейфа частоты генератора.

Программно-управляемый усилитель мощности задает и поддерживает требуемый ток в катушке возбуждения в широком диапазоне, что

© Мухамедиев Э.Д., Шамирзаев С.Х., Зиёваддинов Ж.К., Электронная обработка материалов, 2013, **49**(2), 102–105.

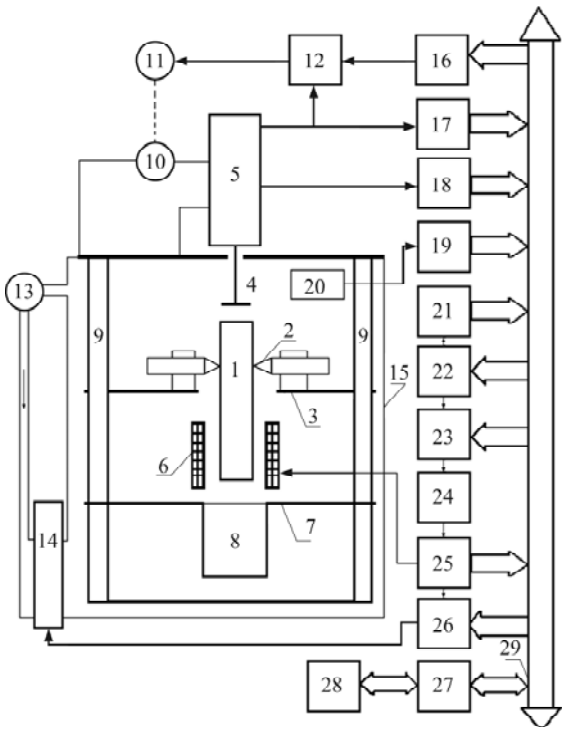

Рис. 1. Автоматизированная система измерения внутреннего трения различных материалов. *1* – образец; *2* – игла-держатель; *3* – пластина держателя; *4* – ёмкостный датчик; *5* – детектор; *6* – катушка возбуждения; *7* – пластина системы возбуждения; *8* – постоянный магнит; *9* – направляющие; *10* – механизм перемещения детектора; *11* – электродвигатель; *12* – система управления зазором; *13* – вентилятор; *14* – система стабилизации температуры; *15* – термостат; *16* и *26* – ЦАП; *17–19* и *25* – цифровые вольтметры или АЦП; *20* – термодатчик; *21* – частотомер; *22* – программно-управляемый генератор синусоидального сигнала; *23* – программно-управляемый усилитель; *24* – усилитель мощности; *27* – контроллер; *28* – управляющий компьютер; *29* – магистраль.

позволяет исследовать амплитудные зависимости внутреннего трения. Ток возбуждения измеряется цифровым вольтметром или аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), а результаты измерения вводятся в управляющий компьютер.

Аналогично измеряются постоянная и переменная составляющие сигнала с ЧМ детектора. При этом переменная составляющая отражает амплитуду колебаний образца на заданной частоте, а постоянная – величину рабочего зазора детектора при данном диаметре образца. Постоянная составляющая используется в специальном устройстве механической компенсации изменения величины рабочего зазора ЧМ детектора как сигнал обратной связи. При этом появляется возможность задавать величину зазора со стороны управляющего компьютера через цифровой аналоговый преобразователь (ЦАП). Таким образом, достигаются точная автоматическая начальная установка требуемого зазора и поддержание его при проведении исследований температурных зависимостей внутреннего трения (ТЗВТ).

Весь процесс измерения и перехода на разные режимы, включая и температурные, полностью автоматизирован, документируется в файле на диске (формат Microsoft Excel) и отражается на экране монитора в графическом и цифровом виде.

Описываемая система имеет высокую чувствительность к изменениям температуры. Так, например, при измерениях на образце из алюминиевого сплава длиной 450 мм получен резонансный пик на частоте около 5600 Гц с полушириной 3 Гц. После прогрева образца на 5°С резонансная частота сместилась в сторону уменьшения на 1,5 Гц. Расчеты показали, что это смещение вызвано термическим удлинением образца. Чтобы избежать нежелательных температурных эффектов, датчик *4*, образец *1* с держателями и системой возбуждения, укрепленными на направляющих *9*, помещаются в термостат *15*. Внутри термостата обеспечивается принудительная циркуляция воздуха через внешний воздуховод с помощью вентилятора *13*. На воздуховоде смонтирован нагреватель системы стабилизации температуры *14*. Уровень температуры задается сигналом с ЦАП *26*, а реальное значение измеряется с помощью термодатчика *20* и АЦП *19*. Эта же система позволяет проводить исследование температурных зависимостей внутреннего трения.

Чтобы оценить частотные зависимости внутреннего трения, применяется следующая методика. Вначале устанавливается образец большой длины, и для него производятся необходимые измерения и вычисления. Затем образец укорачивается, что приводит к сдвигу его резонанса в

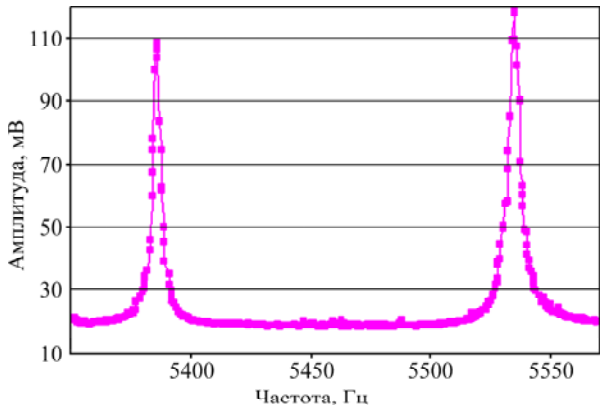

Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика подложечного образца на основе алюминиевого слава В-95 пч диаметром D = 8 мм, длиной L_1 = 460 мм.

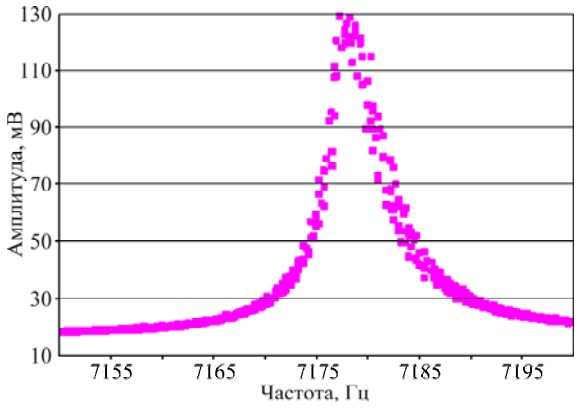

Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика подложечного образца на основе алюминиевого сплава В-95 пч диаметром D = 8 мм, длиной L_2 = 350 мм.

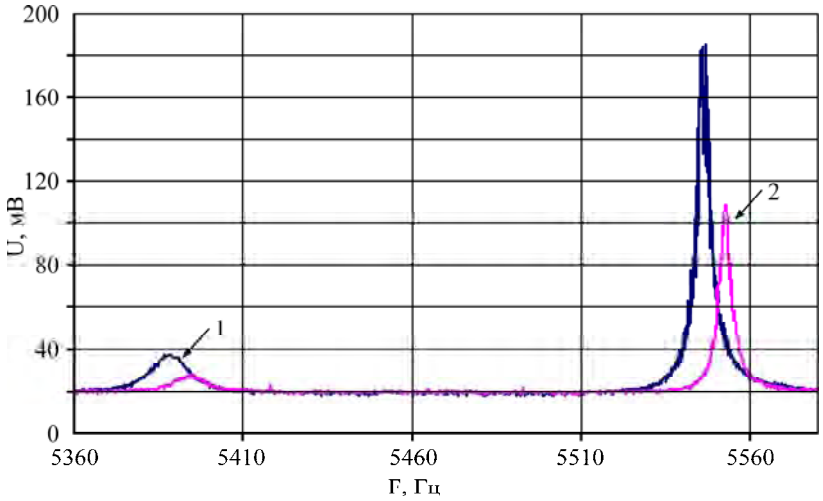

Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика высокопрочного образца на основе алюминиевого сплава В-95 пч диаметром D = 8 мм, длиной L_0 = 460 мм при различных I_0, мА: *1* – 1000; *2* – 600.

область более высоких частот. Снова производятся измерения для новой длины и частоты. При нескольких измерениях после укорачивания образца достигается возможность определения характера поведения внутреннего трения.

АМПЛИТУДНО-ЗАВИСИМОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ (АЗВТ)

При амплитудах относительной деформации 10^{-8}–10^{-5} в кристаллических материалах наблюдается амплитудная зависимость внутреннего трения и дефекта модуля Юнга. До настоящего времени вопрос о природе точечных дефектов, контролирующих движение дислокаций в гранецентрированных композиционных ГЦК металлах, не решён. Для решения проблемы необходима методика, которая позволяла бы непосредственно из экспериментальных данных получать сведения о силах связи и характере расположения стопоров вдоль линии дислокации. В работе [4] предлагается способ расчета абсолютных значений структурных и силовых параметров из экспериментов по АЗВТ в совокупности с результатами измерений предела текучести исследуемого материала. Решение задачи иллюстрируется на примере монокристалла алюминия.

Объектами исследования настоящей работы являются поликристаллические высокопрочные сплавы алюминия марки В-95 пч диаметром D = 8 мм и разной длины.

Измерения АЧХ, выполненные в прямом и обратном направлении (по частоте), не изменяют высот и положений двух резонансных пиков (рис. 2), наблюдаемых в исходном образце длиной L_1 = 460 мм. Это свидетельствует о том, что существование этих пиков не связано с процессами необратимой перестройки источников диссипации энергии в сплаве.

Время τ, в течение которого дислокация находится в состоянии движения за каждый полупериод изменения внешней силы, существенно зависит от амплитуды этой силы и определяется по формуле

$$\tau = (2/\omega) * \arccos\left\{ f^* / \left| f(r) \right| \right\},$$

где f^* – стартовая сила.

Следовательно, колебания дислокации не являются гармоническими. Ангармонизм вынужденных колебаний дислокаций обусловливает неупругое поведение материала и приводит к появлению АЗВТ и дефекта модуля Юнга (ДМЮ) [4].

При уменьшении длины образца до L_2 = 350 мм наблюдается исчезновение одного из максимумов (рис. 3), связанного, по нашему мнению, с наличием зернограничной релаксации. В работе [5] часть сложного движения границы зерна моделируется движением мембран под действием приложенного внешнего напряжения. Физической основой модели влияния колеблющейся мембраны на модуль упругости и внутреннее трение (ВТ) является периодическая деформация материала, содержащего структурные дефекты. При этом деформация отстает по фазе от напряжения, что приводит к диссипации энергии и возникновению ДМЮ и эффекта АЗВТ.

Из данной модели можно понять исчезновение зернограничного максимума при явлении адсорбции по границам второй фазы. Обсуждаемый механизм максимума связан с колебаниями границы зерен под действием приложенного осциллирующего напряжения. По-видимому, в процессе укорочения образца примеси, выпадая по границам зерен, закрепляют их.

Нами были проведены исследования затухания ультразвуковых колебаний (УЗ) на образцах различной длины, что дало возможность разделить общее измеренное затухание на фоновую составляющую Γ_Φ и истинное затухание $\Gamma_и$:

$$\Gamma_\Phi = \left[\Gamma_1 + \Gamma_2 - 2\Gamma_0 \bullet (L_1 + L_2)\right] / 2;$$

$$\Gamma_0 = (\Gamma_1 - \Gamma_2) / 2 \bullet (L_1 - L_2).$$

Здесь Γ_1 и Γ_2 – затухание ультразвука на образцах длиной L_1 и L_2 соответственно.

На рис. 4 приведены АЧХ для алюминиевого сплава В-95 пч (после 2-часового отжига при температуре 190°С), длина которого L_0 = 460 мм, а диаметр D = 8 мм, при различных амплитудах тока I_0 в катушке возбуждения.

Таким образом, следует отметить, что разработан метод измерения амплитудно-частотной характеристики образцов на основе высокопрочного алюминиевого сплава, позволяющий оценить последствия воздействия на образцы различных факторов, таких как облучение, отжиг, механическое нагружение, воздействие жидких металлов и различных химических сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shamirzaev S. The Modeling of Fatigue Imperfections in Construction Materials. *Int. J. Fatigue*. 2002, **24**(7), 777–782.
2. Thompson D.O., Glass F.M. Elastic Constant–internal Friction Spectrometer. *Rev. Sci. Instr*. 1958, **29**, 1034.
3. *Влияние дефектов на свойства твердых тел. Физическая акустика*. Под редакцией У. Мэзона. М.: Мир, 1969, том 3, часть А.
4. Наими Е.К. К теории пика амплитудно-зависимого внутреннего трения в кристаллах, обусловленного силами Пайерлса–Набарро. *Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах*. М.: Наука, 1982. С. 7–11.
5. Криштал М.И. и др. Об одном механизме зернограничной релаксации. *Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах.* М.: Наука, 1982. С. 25–28.

Поступила 28.03.12

Summary

The automated installation for measuring the internal friction of various materials which uses a resonant excitement principle and detecting of sample vibrations is created. It uses a scanning mode of coil exciting current frequency instead of the known auto generating mode. Installation gives the possibility to estimate the impact reaction of different factors to samples such as radiation, annealing, mechanical loading, the effect of liquid metals and various chemical environments. On the frequency – amplitude characteristic of aluminum alloy B-95 (with a diameter of 8 mm and the length of 460 mm), two resonant peaks are observed. One resonant peaks disappears when the length of this sample is reduced from 460 mm to 350 mm. Interaction of dislocations with lithium, zinc and other impurity atoms introduced into aluminum alloys can be studied based on measurement results both of amplitude and temperature dependences of internal frictions.