

УДК 53 (075)

Компьютеризованная лабораторная работа «Изучение акустического излучения металлами при механической деформации и наводороживании»

Виталий Васильевич Ларионов, Юрий Петрович Черданцев,
Иван Петрович Чернов

Томский политехнический университет
e-mail: larvv@sibmail.com

Ключевые слова: акустическая эмиссия, механическая деформация, наводороживание металлов, амплитуда излучения, энергия акустических волн, компьютерные технологии обучения.

Цель работы – определение энергии упругих механических волн (акустической эмиссии) в диапазоне частот от 20 КГц до 2 МГц, возникающих при механической деформации и наводороживании металлов. В работе измеряется также длительность и амплитуда звукового сигнала.

Введение

Обеспечение современного качества образования возможно на основе сохранения его фундаментальности [1-3], что требует применения компьютеризованных лабораторных работ уже на младших курсах [3-5]. Предлагаемая лабораторная работа, посвященная проблемам водородной энергетики, знакомит студентов, бакалавров и магистров, обучающихся по дисциплине «Физика», с измерительными технологиями, с применением компьютеров, благодаря чему появляется возможность изучать ранее недоступные явления.

Традиционно в первой части курса физики лабораторные работы по данной теме посвящены изучению материалов методом внутреннего трения, измерению скорости распространения упругих волн и определению на этой основе механических характеристик физических объектов – например, определяют модуль Юнга. Поэтому представляется важным познакомить студентов с методами измерения энергетических характеристик таких волн. Особое значение лабораторная работа имеет для студентов машиностроительных специальностей, а также студентов, обучающихся по направлению «Физика». Это важно в свете последних успехов водородной энергетики и исследования материалов, подверженных наводороживанию.

Природа акустической эмиссии

Известно [1, 2, 6], что источником упругих механических волн в металлах, подверженных деформации и наводороживанию, являются дефекты, в образовании которых водород играет существенную роль. Возникают локальное движение дислокаций, микротрещины и микроскольжение зерен металла. Области деформации внутри металла импульсно переходят из одного состояния в другое, в результате чего возникает колебательный процесс. Этот процесс инициирует распространение волны напряжений, т.е. упругих волн. Если длина упругих волн сравнима с размерами образца, то колебаниям подвергается образец как целое или его макроскопическая часть. Частоты колебаний (частотный спектр) возникающих акустических волн, зависят от геометрии и механических характеристик образца и имеют характерные максимумы (их называют «пики») на частотах, совпадающих с собственными частотами системы образец – датчик. Излучение механических волн в акустическом диапазоне проявляется в виде:

а) непрерывно следующих одна за другой коротких «вспышек» малой амплитуды в широком диапазоне частот;

б) излучения большой энергии (взрывного типа).

Их наблюдают в виде коротких импульсов сравнительно большой амплитуды с малыми частотами.

Непрерывная эмиссия связана с изменением дислокаций внутри кристалла, их движением и выходом на поверхность. Оксидный поверхностный слой при нагружении образца также может производить шум, сходный с акустической эмиссией, наблюдаемой при пластической деформации основного материала. Поэтому на это необходимо обращать внимание и подчеркивать, что прочность поверхностных защитных слоев может быть определена с помощью методов акустической эмиссии.

Наблюдаемая частота излучения в рассматриваемых ситуациях равна $3\div 30$ КГц. Излучение большой энергии характеризуется большой амплитудой волны – в $10^{10}\div 10^{14}$ раз больше, чем при непрерывной эмиссии. Этот вид излучения вызван макроскопическими дефектами, распространением трещин.

Основные характеристики упругих механических волн, изучаемых в работе

Основными характеристиками являются:

- 1) количество сигналов в секунду;
- 2) максимальная амплитуда импульса;

- 3) энергия сигнала;
- 4) длительность импульса, время увеличения и спада амплитуды.

Длительность акустических импульсов составляет $10^{-8} \div 10^{-4}$ с; энергия импульсов $10^{-9} \div 10^{-5}$ Дж. Амплитуда (смещение) колебаний поверхности образца $10^{-10} \div 10^{-7}$ м. Излучение регистрируется в интервале частот от килогерц до сотен мегагерц.

Описание экспериментальной установки

Установка, предназначенная для выполнения лабораторной работы, представлена на рисунке 1. Она включает в себя исследуемый образец, устройство для создания напряжений в образце, детектор (пьезодатчик сигналов акустических волн), усилитель сигналов, персональный компьютер с платой сбора данных. Плата представляет собой спектрометр (с предусилителем сигналов от пьезодатчика), усилитель низкочастотного ультразвука. Пьезодатчик настроен на регистрацию сигналов с частотой от 20 кГц до 2 МГц. Усилитель сигналов обеспечивает

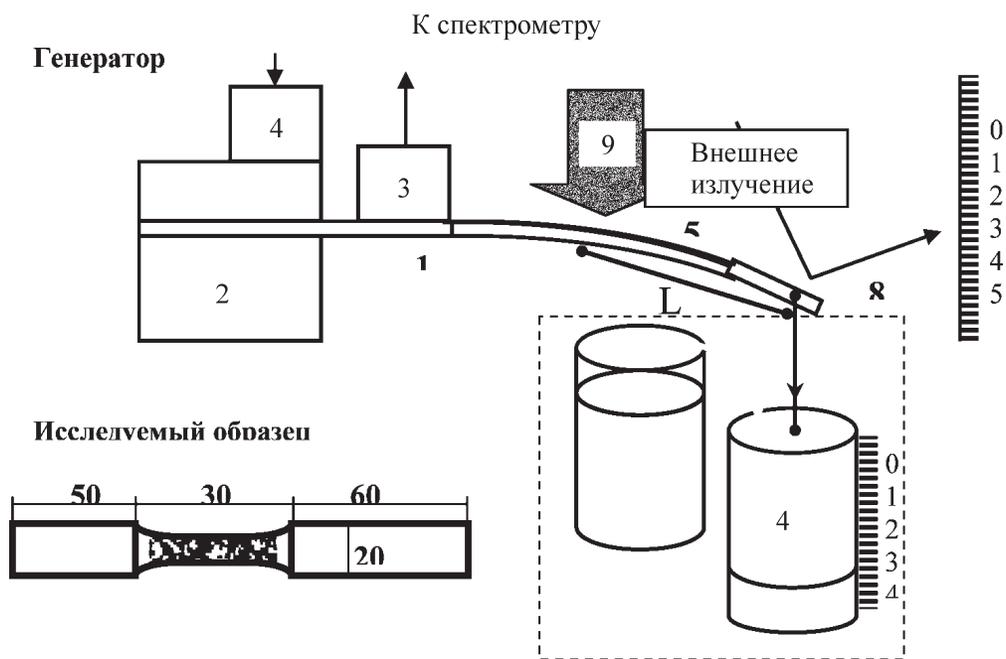


Рисунок 1. Схема установки для измерения сигналов акустической эмиссии: 1 – образец; 2 – жесткое крепление; 3, 4 – пьезопреобразователи; 5 – покрытие; 6 – сосуды с жидкостью для плавного изменения нагрузки на образцы; 7 – луч лазера; 8 – зеркало; 9 – облучение.

наименьшее искажение при усилении 30 – 60 дВ. Программа сбора данных (Sek-Mashine Standard, version V1.5, создана в Саарбрюккенском университете, Германия) позволяет получать: зависимость амплитуды сигналов акустического излучения от времени, длительность сигналов, гистограмму энергии акустических импульсов во времени. Измерения проводятся в следующем режиме: amplifier[dB] = 30, dead time[mS] = 50-100, threshold [mV] (порог дискриминации) = 700-1000.

Параметры сигналов акустической эмиссии связаны с характеристиками протекающих в твердом теле процессов и механическими свойствами материала. В качестве калибровочных образцов используются стальные стерженьки с нанесенным на них хрупким покрытием из эпоксидной смолы и термически напыленных пленок алюминия и меди. Для сокращения времени проведения учебно-исследовательской лабораторной работы используются образцы, применявшиеся в научных исследованиях.

Для проверки работоспособности установки на пьезопреобразователь 4 периодически подают с генератора калибровочные сигналы. Для устранения шумов нагружающее устройство выполнено в виде сообщающихся сосудов с изменяемой скоростью увеличения нагрузки. При нагрузке от 0 до 50 Н наиболее подходящие для выполнения работы размеры стальных пластин толщиной 0,5 ÷ 1 мм показаны на рисунке 1. Для образцов с хрупким покрытием с момента начала нагружения спектрометр фиксирует появление сигналов АЭ. При значительном нагружении акустическая эмиссия возрастает за счет разницы механических свойств покрытия и металлической пластины. Возрастание акустической эмиссии фиксируется в отчете и записывается студентами в соответствующий файл.

Напряжения, возникающие в поверхностном слое, оцениваются по формуле

$$\sigma = \frac{3PL}{2hd^2},$$

где L – расстояние от точки приложения силы до места наблюдения; h и d – ширина и толщина образца; P – нагрузка на образец.

Таким образом, описанная установка позволяет студентам изучать явление акустического излучения, возникающего при сгибающих нагрузках, как в статическом варианте, так и в режиме постепенного увеличения или снижения нагрузки. Изучаются процессы дефектообразования, проходящие на поверхности металла при насыщении водородом, и явления, вызывающие генерацию сигналов АЭ в объеме материала при других видах воздействий.

Методика и техника измерений при выполнении лабораторной работы включает в себя:

- 1) измерение параметров фоновых шумов акустических волн;

2) измерение параметров сигналов акустической эмиссии при изменении напряжения и наводораживании образцов;

3) построение диаграмм в виде графиков зависимости от энергии сигнала.

Характерный вид экспериментальных графиков показан на рисунке 2. По величине амплитуды и энергии нужно сделать вывод об интенсивности излучения механических волн.

Испускание сигналов акустической эмиссии сопровождает все стадии необратимого разрушения или перестройки структуры твердого тела. Параметры сигналов АЭ связаны с характеристиками протекающих в твердом теле процессов, механическими свойствами данного материала и геометрией эксперимента.

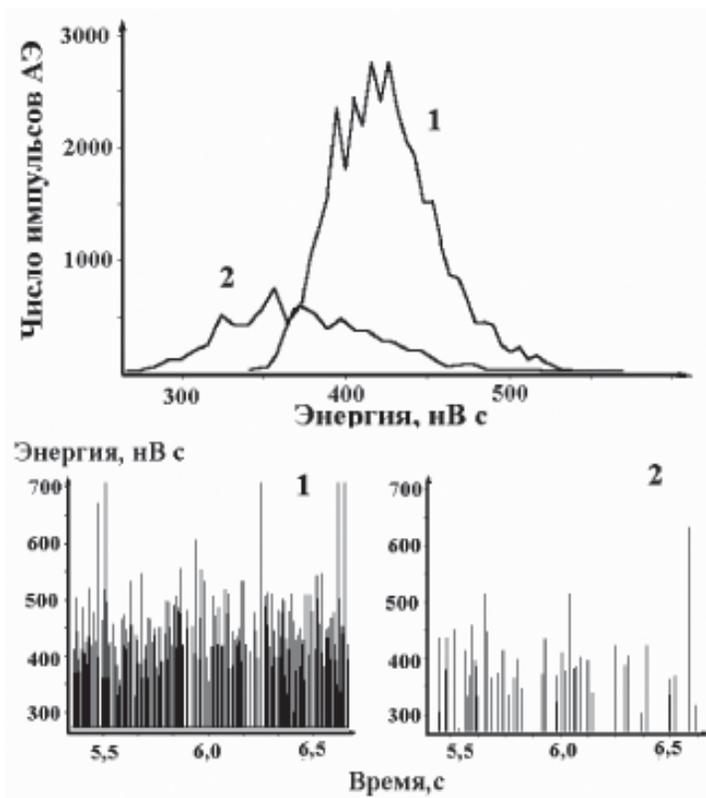


Рисунок 2. Энергетическая гистограмма для двух различных образцов (верхний график). Энергия акустических импульсов, возникающих в образцах, как функция времени (нижние графики). Цифрами указаны образцы.

Заклучение

Требования к выпускнику технического университета непрерывно возрастают. Поэтому уже с первых курсов студенту необходимо самостоятельно добывать знания и совершенствовать умения, повышать свою информационную культуру для проведения реальных экспериментов [3], пользуясь компьютерными программами сбора данных. Поставленные цели успешно реализуются при выполнении предложенной лабораторной работы.

Литература

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Механика: Учебное пособие. – М.: Наука. 1983. – 688 с.
2. *Алешкевич В.А., Деденко Л.Г., Мусаев Т.Ш.* Механика сплошных сред. Лекции. – М.: Изд-во физического факультета МГУ, 1998. – С. 12 – 30.
3. *Шапочкин М.Б.* Меморандум конференции «Современный физический практикум» // Физическое образование в вузах. – Т. 8, № 3. – 2002. – С. 3– 6.
4. *Жарков Ф.П., Каратаев В.В.* и др. Использование виртуальных инструментов Lab VIEW/ Под ред. К.С. Демирчана и В.Г. Миронова. М.: Солон-Р. Радио связь, Горячая линия - Телеком, 1999. – 268 с.
5. *Чернов И.П., Ларионов В.В., Веретельник В.И.* и др. Компьютеризированные лабораторные работы по физике на базе графической программной технологии // Физическое образование в вузах. – Т. 8, № 1. – 2002. – С. 78– 85.
6. *Баумбах Х., Кренинг М., Чернов И.П., Черданцев Ю.П.* Неравновесные системы металл-водород. Титан, нержавеющая сталь. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2002. – 195 с.