

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Б.Н. Одиназода¹, М.М. Хакдодов², М.М. Хакдод²

¹ Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСИС) в г. Душанбе,

² Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе проведен анализ различных методик исследования акустических и демпфирующих способностей металлических материалов и оценки их эффективности. На основе проведенных исследований усовершенствована установка для исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов, позволяющая повысить точность измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов за счет упрощенности и точности способа закрепления образца под разными углами наклона и применения современных измерительных приборов.

Ключевые слова: металл, сплав, акустические свойства, демпфирующие свойства, акустодемпфирующие свойства, экспериментальная установка, измерительные приборы.

ДАР БОРАИ ТАКМИЛ ДОДАНИ УСУЛИ ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ САДОЛАРЗИШПАХШКУНИИ МЕТАЛЛҲО ВА ХУЛАҲО

Б.Н. Одиназода, М.М. Ҳақдодов, М.М. Ҳақдод

Дар мақола таҳлили усулҳои гуногуни таҳқиқи хосиятҳои садо ва ларзишпахшкунӣ маводҳои металлӣ ва баҳодиҳии самаранокии онҳо оварда шудааст. Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда дастгоҳ барои таҳқиқи хосиятҳои садоларзишпахшкунӣ металлҳо ва хулаҳо такмил дода шудааст, ки он имконият медиҳад, аз ҳисоби содагардонӣ ва дақиқии усули мустақкам намудани намуна дар дастгоҳ зери кунҷҳои моили гуногун ҷармаи таҷриба шавад.

Калидвожаҳо: металл, хула, хосияти садопахшкунӣ, хосияти ларзишпахшкунӣ, хосияти садоларзишпахшкунӣ, дастгоҳи таҷрибаӣ, асбобҳои ченкунӣ.

ON IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR STUDYING ACOUSTIC DAMPING PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS

B.N. Odinzoda, M.M. Khakdodov, M.M. Haqdod

The paper presents an analysis of various methods for studying the acoustic and damping properties of metallic materials and an assessment of their effectiveness. Based on the conducted research, the installation for studying the acoustic damping properties of metals and alloys has been improved, which allows for increased accuracy in measuring the acoustic damping properties of metals and alloys due to the simplified and accurate method of securing the sample at different angles of inclination and the use of modern measuring instruments.

Keywords: metal, alloy, acoustic properties, damping properties, acoustic damping properties, experimental setup, measuring instruments.

В последние годы исследованию акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов уделяется большое внимание. Необходимость проектирования машин и механизмов с учетом их акустических свойств ставит перед исследователями новые проблемы, в частности разработку материалов с улучшенными акустическими и демпфирующими характеристиками [1, 2]. В связи с этим конструкторы при выборе материалов должны руководствоваться принципом оптимального сочетания прочностных и эксплуатационных свойств с удовлетворительной или высокой акустической и демпфирующей способностью, что накладывает повышенные требования на результаты исследований акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов, их достоверность и сопоставимость.

Для определения акустических и демпфирующих свойств материалов служат различные характеристики в зависимости от того, каким методом осуществляется измерение рассеяния энергии колебаний. Все параметры независимо от того, характеризуют ли они истинное или относительное затухание, определяют энергию, которая рассеивается в материале за счет его неупругого поведения при циклическом нагружении [1, 2].

В общем виде демпфирующая способность материала характеризуется относительным рассеянием энергии ψ , определяемой, как отношение энергии, поглощаемой в необратимой форме единицы объема материала за один цикл нагружения при заданной амплитуде напряжения ΔW , к потенциальной энергии единицы объема материала, накопленной в момент достижения максимального напряжения в начале данного цикла W :

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}; \quad (1)$$

В настоящее время имеющиеся в литературе данные о демпфирующей способности одних и тех же (или близких по составу и обработке) материалов разнятся [3]. Поскольку механизм рассеяния энергии в материале весьма сложный и зависит от многих факторов: частоты, напряжения, температуры и других, то

выбор метода определения акустических и демпфирующих свойств материалов важен для правильного объяснения того или иного механизма рассеяния энергии в материале.

Имеется много различных экспериментальных методов определения характеристик рассеяния энергии в материале при циклическом его деформировании. В зависимости от того, измеряется ли удельное рассеяние или относительные характеристики в материале, эти методы делятся на прямые и косвенные [3, 4].

Среди прямых методов основными являются энергетический, калориметрический и метод определения гистерезисной петли.

Косвенный – это метод свободно затухающих колебаний, метод резонансной кривой, фазовый метод.

Все эти методы применяются в зависимости от цели исследования и имеют свои преимущества и недостатки.

Наиболее распространенным по сравнению со всеми другими (прямыми и косвенными) способами определения акустических и демпфирующих свойств является метод свободно затухающих колебаний. Суть метода заключается в обработке осциллограмм свободных затухающих колебаний образца материала. В качестве характеристики демпфирующей способности по темпу убывания амплитуды определяется логарифмический декремент колебаний δ_d или относительное рассеяние энергии φ . Логарифмический декремент колебания рассчитывается по формулам:

$$\delta_d = \frac{\ln A_0}{A_1}; \quad (2)$$

$$\delta_d = \frac{1}{n \ln(\frac{A_0}{A_n})} = \frac{1}{n \ln t}; \quad (3)$$

где A_0 и A_1 – амплитуды в начале и в конце цикла колебаний; A_n – амплитуда колебаний в конце интервала, состоящего из n – циклов. $A_0/A_n=t$ различные исследователи применяют от 4 до 1,1.

Результаты расчетов по уравнениям (1.2) и (1.3) совпадают, в этом случае декремент колебаний не зависит от абсолютной величины амплитуды в выбранном интервале.

Между относительным рассеянием энергии φ и логарифмическим декрементом существует простая связь:

$$\varphi = 2\delta_d; \quad (4)$$

Чаще всего используется уравнение (1.3), и полученное значение декремента колебаний относят к средней амплитуде на выбранном участке осциллограммы:

$$A_{cp.} = \frac{A_0 + A_n}{2}; \quad (5)$$

В случае большого затухания использование формул (3) и (5) может привести к нарушению соотношения (4) [5]. Поэтому целесообразно обратиться к дифференциальному определению относительного рассеяния энергии и декремента колебаний.

На основании равенства (3) при $A_n \rightarrow A_0$ и $t \rightarrow N$ получается уравнение для декремента колебаний, соответствующего амплитуде A_1 .

$$\delta_d(A) = -d \ln\left(\frac{A}{d_N}\right) = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{d_N}; \quad (6)$$

Из выражения (6) следует [6] простое равенство для определения декремента по огибающей затухающих колебаний

$$\delta_d(A) = -\frac{1}{A} \cdot \text{tg} d = \frac{1}{\bar{N}}; \quad (7)$$

где \bar{N} - число циклов (как целое, так и дробное) на участке под касательной, проведенной к огибающей в точке рассматриваемой амплитуды колебаний A .

Уравнение (7) позволяет определить достоверные значения декремента колебаний не только при большом, но и при малом затухании.

Для измерения демпфирующей способности материалов разработаны различные экспериментальные установки. Все они классифицируются по следующим признакам [7]:

- 1) по виду механических колебаний в образце (крутильные, поперечные или изгибные, продольные):

- 2) по диапазону амплитуд колебаний или виду зависимости демпфирующей способности от амплитуды (область амплитудно-независимого демпфирования, область амплитудно-зависимого демпфирования);
- 3) по характеру колебаний (свободные, вынужденные);
- 4) по частоте колебаний (квазистатистические, низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные);
- 5) по способу возбуждения колебаний (механические, электрические);
- 6) по способу регистрации колебаний (визуальный, механический, фотографический, электрический и т.д.).

Все перечисленные экспериментальные установки имеют свои преимущества и недостатки. Однако главным недостатком, как отмечают авторы [8], является несоответствие ГОСТам существующей измерительной техники и методам обработки результатов измерений демпфирующей способности металлов за крайне редким исключением. Все это усложняет получение сопоставимых и достоверных результатов измерения.

Поэтому необходимо разработать методику исследования и выбрать современную измерительную аппаратуру, позволяющие получить достоверные результаты эксперимента.

Методы исследования акустических свойств материалов с использованием импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний позволяют определить не только звукоизлучение металлов, характеризующихся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии. Поскольку колебания и звук, возникающие при действии единичного импульса на механическую систему, затухают в результате энергии, обусловленной внутренними и внешними потерями [9].

Для исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов использовали методику ударного возбуждения звуковых колебаний в металлах и сплавах на установке ТТУ-1, сущность которой заключалась в моделировании процесса шумообразования при соударении деталей машин, где в качестве модели принят образец в виде пластин постоянных геометрических размеров, возбуждение свободных колебаний осуществлялось ударом стального шарика по геометрическому центру пластины [10].

В целях усовершенствования конструкции устройства для повышения точности измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов предложена новая установка ТТУ-2, где для упрощения способа закрепления образца в нее вмонтирована конструкция механизма регулирования угла наклона образца [11].

Установка ТТУ-2 согласно приведенной схеме на рисунке состоит из подвижной 1 и неподвижной 2 плит, закрепленных на стойках 3. На неподвижной плите 2 устанавливается регулируемая плита 4 для закрепления образца (пластины) 8 на вольфрамовых нитях 12 на подвижных захватах 18, и содержащая шлицевое соединение 5, обеспечивающее наклон образца под разными углами. На подвижной плите 1 установлена трубчатая печь 13 для нагрева шарика 10. К трубчатой печи 13 сверху присоединен бункер 14 для шариков 10, а снизу – верхний и нижний электромагниты 11. К стойкам 3 сверху и снизу регулируемой плиты 4 прикреплены по одному нагревательному элементу 9 для нагрева шара 10, ниже которых прикреплены соответственно микрофон 6, подсоединенный к панели акустоизмерительных приборов 15, и ловитель (приемник) шаров 7. Температура образца 8 измеряется прибором 16. Все конструктивные элементы установки, в т.ч. измерительные приборы, установлены на основании 17.

Конструкция установки предусматривает снижение шумового фона до минимальных значений. Она смонтирована на звукопоглощающем двухслойном материале, состоящем из войлока (10 мм) и поролон (30 мм). Нижняя поверхность стола имеет поролоновую изоляцию толщиной 10 мм.

Процесс исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов заключается в следующем: образец 8 в виде пластины (например, размером 50x50x5 мм) устанавливается на регулируемой плите 4 между вольфрамовыми нитями 12 на подвижных захватах 18, прикрепленная к неподвижной плите 2.

Плоскость подвески образца наклонена к горизонтальной плоскости под разными углами при помощи устройства 5, чтобы избежать повторные соударения. Ударный элемент в виде стального шарика 10 (сталь ШХ15, диаметр 10 мм, массой 4,5 г), из бункера 14 попадает в трубчатую печь 13, подогревается и притягивается сердечником верхнего электромагнита 11. При его отключении попадает в нижний электромагнит 11, после отключения которого свободно падает на подвешенный плоский образец 8 и генерирует в нем колебания за счет перехода потенциальной энергии к кинематической. Шары 10, отскочившие от образца 8, собираются в приемнике 7.

Для исследования температурной зависимости акустодемпфирующих свойств металлических материалов образец 8 нагревается в зависимости от условия эксперимента нагревательными элементами 9.

Отличительной особенностью новой установки ТТУ-2 от известных являются простота и удобство крепления образца без дополнительной натяжки под воздействием груза и повышения предела возможности регулирования угла наклона образца, состоящая из шлицевого соединения для регулировки угла наклона

образца 8 каждые 2 градуса к ее плоскости подвеса, позволяющего конструктивно измерять акустические свойства материала под разными углами наклона образца.

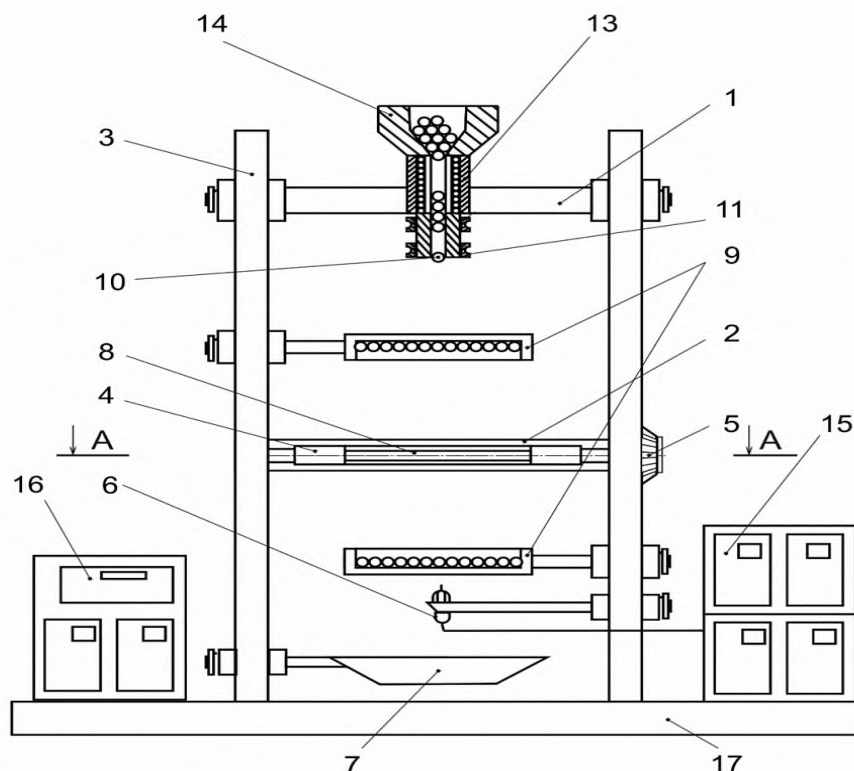


Рисунок – Схема установки ТТУ-2

1-подвижная плита; 2-неподвижная плита; 3-стойки; 4-регулируемая плита; 5-шлицевое соединение; 6-микрофон; 7-ловитель (приемник) шаров; 8-образец; 9-нагревательный элемент; 10-шарик; 11-электромагниты; 12-вольфрамовая нить; 13-трубчатый нагревательный элемент; 14-бункер; 15-панель акустических приборов; 16-измеритель температуры; 17-плита основания.

В качестве примера в таблице приведены результаты измерения акустических свойств стального образца при различных углах наклона образца и температуры нагрева шара, что показывает точность закрепления образца и получения достоверных данных с учетом физико-механических свойств материала и параметров звукоизвлечения.

Таблица – Результаты измерения акустических свойств образца

Угол наклона образца в градусах	Уровни звука, дБА	Температура нагрева шара, °C	Уровни звука, дБА
2	102	100	82
4	97	150	77
6	93	200	74
8	89	250	72
10	86	300	70

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1) использование импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний позволяет определить не только звукоизлучение металлов, характеризующихся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии;

2) полученные зависимости позволяют определить акустодемпфирующие свойства металлов и сплавов при ударном нагружении образца с учетом физико-механических свойств материала и параметров звукоизлучения;

3) усовершенствование конструкции механизма регулирования угла наклона образца и упрощение способа закрепления образца повышают точность измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов в зависимости от параметров звукоизлучения.

Рецензент: Тулаҳмадов Хайдар Шарифович. — д.т.н., и.о. профессора кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ПЭПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Баланцев С.К., Белов С.В. Исследование акустических характеристик пористых металлов и глушителей шума. //Труды МВТУ. – 1979. -№308.
2. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. Л.: Судостроение, 1979. – 184с.
3. Седов М.С., Кочкин А.А. О звукоизоляции слоистых вибродемпфированных панелей и их применение в условиях эксплуатации. В кн.: «Акустическая изоляция помещений и оборудования в промышленности и на транспорте». – Л.: 1985. – с. 13-16.
4. Исаков В.М., Федоровия М.А. Виброшумозащита в электромашиностроении. – Л.: Энергоатомиздат. – 1986. – 206с., ил.
5. Жарков И.Г. Вибрации по обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение. 1986. – 185с
6. Дриц М.Е., Рохлин Л.Л., Магниеые сплавы с особыми акустическими свойствами. – М.: Металлургия, 1983. – 128с.
7. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахштадт А.Г. Металловедение высокодемпфирующих сплавов. М.: Металлургия, 1980.- 271с.
8. Утепов Е.Б., Хохлов П.П. и др. Разработка малошумных сплавов. – Алматы, 1998. Установка для исследования скорости затухания звука УДИСЗЗ–1, 112 стр.
9. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. – Киев.: Наукова думка, 1971. – 190с.
10. Хакдод М.М., Одиназода Б.Н., Моделирование процесса шумообразования при соударении деталей машин и методика исследования акустодемпфирующих свойств материалов. Политехнический вестник. Серия: Металлургия и материаловедение. №2 (62), 2023. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2023. – С. 95-99.
11. Одиназода Б.Н., Хакдод М.М. Установка для исследования акустодемпфирующих свойств металлических материалов. Патент Республики Таджикистан № Tj 1553 МПКG01H1/00, №2301874, заяв. 18.08.2023; опубл. Бюл. №213, 2024.-4 с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Одиназода Бозорали Неъмат н.и.т., дотсент	Одиназода Бозорали Неъмат к.т.н., доцент	Odinazoda Bozorali Nemat candidate of technical sciences, Associate Professor
Филиали ДМТТ "МИСИС" дар ш. Душанбе	Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСИС) в г. Душанбе E-mail: bnodinazoda@gmail.com	The Dushanbe branch of the National Research Technological University MISaA in Dushanbe
TJ	RU	EN
Хакдодов Махмудчон Махмадшарифович Унвончуй	Хакдодов Махмуджон Махмадшарифович Соискатель	Khakdodov Makhmudzhon Makhmadsharifovich Applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими E-mail: mkhakdodov@List.ru	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Ҳақдод Махмадшариф Махмуд доктори илмҳои техники, профессор	Хакдод Махмадшариф Махмуд д.т.н., профессор	Haqdod Makhmadsharif Mahmud Doctor of technical sciences, professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими E-mail: mkhakdodov@mail.ru	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi