

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев, С. В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов. – Иркутск: изд-во Иркутского гос. ун-та. – 2008. – 523 с.
2. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. / Ред. совет: В. Е. Челомей(пред.). – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1. Колебания линейных систем / Под ред. В. В. Болотина. 1978. – 352 с.
3. Зотов, А. Н. Амортизаторы с квазиулеевой жесткостью. Нефтегазовое дело: научно-технический журнал / ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – Уфа: Нефтегазовое дело, 2005, № 3. – С. 265–272.

Поступила 09.11.2020

УДК 621.793

Белоцерковский М.А.¹, Таран И.И.¹, Грищенко А.О.², Александрова В.С.¹

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

1. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

2. Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования демпфирующих свойств деталей с покрытиями. Проведены испытания диссипативных характеристик образцов из чугуна СЧ 20 с покрытиями, состоящими из полимерных (СВМПЭ) и металлических (алюминий, титан) слоев, нанесенных газотермическими методами.

Введение. Известно, что для деталей и узлов машин, работающих в циклическом режиме, наибольшую опасность представляют резонансные колебания, обуславливающие перегрузку и преждевременное разрушение деталей [1–3]. Демпфирование резонансных колебаний в значительной степени уменьшает опасность разрушения деталей машин и является большим резервом повышения прочности в машиностроении. Кроме того, например, в металлообрабатывающих станках, снижение вредных резонансных колебаний путем демпфирования, обеспечивает значительное повышение динамической устойчивости станка при резании, что позволяет улучшить качество поверхности обрабатываемых изделий и повышает точность их изготовления [4].

Демпфирование вредных колебаний практически может быть достигнуто применением специальных конструкций элементов сопряжения и различного рода демпфирующих прокладок и пружин, подбором наилучшего, с точки зрения демпфирования колебаний, материала деталей и нанесением на поверхность деталей, работающих в циклическом режиме, демпфирующего покрытия [2, 3]. Применение того или иного способа демпфирования колебаний в каждом отдельном случае обусловлено конкретными условиями работы деталей машин и их конструкцией.

В настоящей работе изучалась способность к демпфированию колебаний различных композиционных газотермических покрытий.

Оборудование и материалы. Целью выполнения испытаний явилось определение логарифмического декремента затухания свободных колебаний консольно закрепленного образца с композиционными покрытиями, состоящими из полимерных и алюминиевых или титановых слоев, и без покрытия.

В качестве объекта испытаний были выбраны образцы чугуна СЧ 20 с нанесенными композиционными покрытиями «полимер-Al и/или Ti» (рис. 1). Исходным образцом служила шлифованная пластина ($Ra < 3,2$), изготовленная из чугуна СЧ20 размером 135×20×3 мм.

Полимерные покрытия наносились газопламенным напылением порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) на установке ОИМ 050. Для нанесения металлических покрытий использовалась установка гиперзвуковой металлизации АДМ-10. Необходимость исследования диссипативных характеристик слоистых покрытий была вызвана появлением задач, связанных с разработкой технологий формирования износостойких покрытий на полимерных деталях и покрытий малого веса.

На рис. 1 представлен внешний вид испытываемых образцов, состав которых приведен в таблице 1.

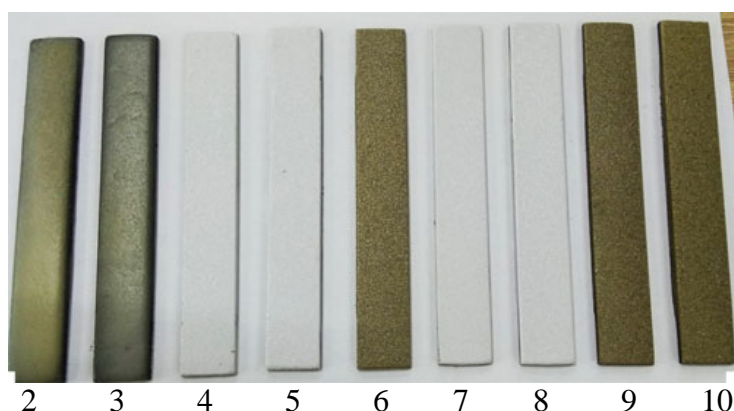


Рис. 1. Образцы с покрытиями (номера соответствуют таблице 1)

Таблица 1 – Состав покрытий, нанесенных на испытываемые образцы

№ образца	Материал покрытия	Толщина покрытия, мм
1	Без покрытия	–
2	СВМПЭ + Al	2,2 + 0,3
3	СВМПЭ + Ti	1,3 + 0,2
4	Al	0,2
5	Al	0,5
6	Ti	0,2
7	Al + СВМПЭ	0,2 + 1,0
8	Al + СВМПЭ	0,5 + 2,0
9	Ti + СВМПЭ	0,2 + 1,0
10	Ti + СВМПЭ	0,5 + 2,0

Для проведения испытаний был разработан и изготовлен экспериментальный стенд ИЯБМ 01171.00056.000 (рис. 2), кинематическая схема которого основана на нагружении свободного конца консольно закрепленного образца, резком снятии нагрузки и регистрации свободных затухающих колебаний бесконтактным датчиком индукционного типа, связанного с компьютером.

Стенд состоит из измерительной и регистрирующей части. В свою очередь измерительная часть стенда состоит из узла крепления образца и узла нагружения, которые жестко закреплены на общей станине. Для калибровки деформации образцов при нагружении используется индикатор часового типа, расположенный на магнитном шта-

тиве. Измерительная часть стенда виброизолирована от лабораторного стола посредством вкладышей, изготовленных из пластины резиновой вакуумной П-51–2062 ТУ 38.105116–81 толщиной 6 мм.

Регистрирующая часть стенда состоит из индуктивного датчика IF 6028 (фирмы IFM Electronic, Германия), аналого-цифрового преобразователя Е-154 (фирмы LCard, Россия; далее – АЦП) и платы усилителя сигнала.

Для обеспечения питающего напряжения индуктивного датчика и усилителя использовался универсальный источник питания (завод «Калибр», Беларусь). Для отображения полученных виброграмм и дальнейшей их обработки применяли персональный компьютер.



Рис. 2. Общий вид экспериментального стенда для испытаний демпфирующих свойств образцов

Плата усилителя, подключаемая в электрической цепи между индуктивным датчиком и АЦП, предназначена для усиления аналогового сигнала с целью повышения точности измерения декремента затухания. Плата разработана на основе операционного усилителя TL0520IP и имеет постоянный коэффициент усиления.

Разработанная Excel-программа автоматически вычисляет логарифмический декремент затухания δ и его значение отображается в заданной ячейке.

При проведении испытаний основным измеряемым параметром является амплитуда затухающих колебаний образца, которая отображается на мониторе компьютера. Амплитуда колебаний является отображением мгновенных значений напряжения, которое фиксируется индуктивным датчиком при изменяющемся расстоянии до поверхности образца в процессе колебаний. Регистрируемые значения напряжения поступают на АЦП, в котором аналоговый сигнал преобразуется в цифровой для отображения на мониторе компьютера.

Проведение исследований. Полученные результаты. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности 40–50 %.

Испытания осуществлялись следующим образом. Образец крепился к держателю покрытием вверх. С целью определения соответствия деформации образца и напряжением аналогового сигнала индуктивного датчика для каждого образца проводились калибровочные измерения. По калибровочному графику определяли сигнал, соответствующий максимальному отклонению 1 мм. Затем образец повторно нагружали до максимального отклонения, после чего резко снимали нагрузку. Свободные затухающие колебания образца регистрировались на мониторе компьютера и обрабатывали для оп-

ределения логарифмического декремента затухания по определенной программе, в основе которой лежит формула:

$$\delta_k = \frac{1}{n_k - 1} \ln \frac{A_0}{A_n},$$

где δ_k – логарифмический декремент затухания колебаний; n_k – число циклов колебаний; A_0 – начальная амплитуда колебаний; A_n – амплитуда колебаний через n_k циклов.

Вид некоторых полученных виброграмм, зарегистрированных на мониторе, приведен на рис. 3.

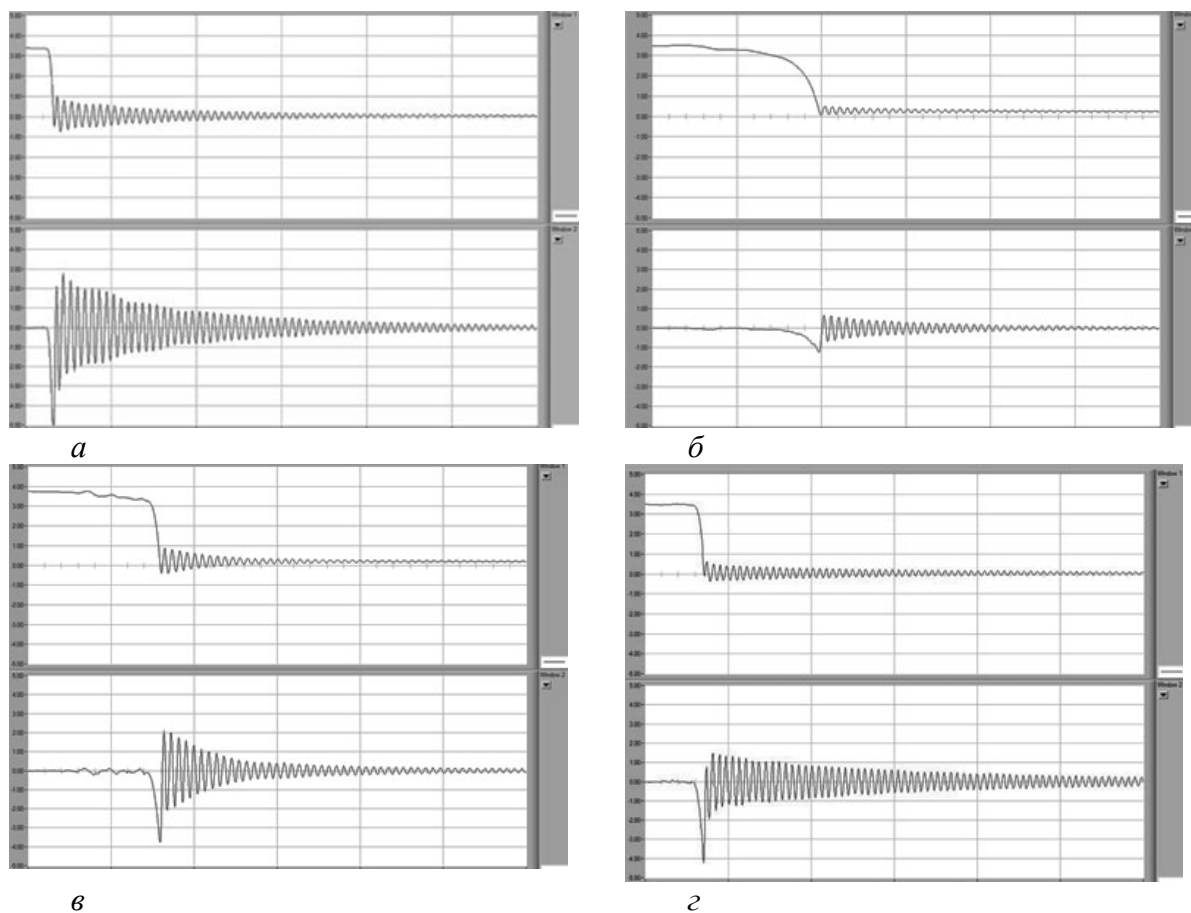


Рис. 3. Некоторые виброграммы образцов: *а* – образец без покрытия; *б* – образец № 2 (с покрытием СВМПЭ + Al); *в* – образец №6 (с покрытием Ti); *г* – образец №5 (с покрытием Al)

Испытания проводили для каждого образца при определении декремента затухания до и после нанесения каждого слоя покрытия. Значения этого параметра являются относительными для каждого образца. Результаты исследовательских испытаний обобщены в таблице 2.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что на разработанном и изготовленном стенде с успехом можно исследовать изменения диссипативных свойств металлических образцов с нанесенными композиционными покрытиями. Кроме того,

показано, что демпфирующие свойства у полимерных покрытий выше, чем у металлических и увеличиваются с ростом толщины покрытий.

Таблица 2 – Демпфирующие свойства образцов с покрытиями

Материал покрытия	Толщина, мм	Декремент затухания	Эффективность демпфирования, %
–	–	0,0698	–
СВМПЭ	2,2	0,0977	40,0
СВМПЭ + Al	2,2 + 0,3	0,0953	36,5
СВМПЭ	1,3	0,0948	35,1
СВМПЭ + Ti	1,3+0,2	0,0823	17,9
Al	0,2	0,0603	–13,6
Al	0,5	0,0598	–14,3
Ti	0,2	0,0933	33,8
Al + СВМПЭ	0,2 + 1,0	0,0873	25,1
Al + СВМПЭ	0,5 + 2,0	0,0525	24,1
Ti + СВМПЭ	0,2 + 1,0	0,0835	19,6
Ti + СВМПЭ	0,5 + 2,0	0,0923	32,3

Определенный интерес вызывают результаты, полученные на образцах с покрытиями из алюминия, которые свидетельствуют о снижении эффективности демпфирования. Это вероятно связано с тем, что образцы были выполнены из чугуна, обладающего по сравнению, например, со сталями более высокими демпфирующими способностями.

Композиционное покрытие, состоящее из относительно толстого слоя СВМПЭ и тонкого слоя алюминия обладает достаточно высокими диссипативными характеристиками и может быть рекомендовано для использования в трибосопряжениях, имеющих ограничения по массе элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. Учебник. – М. : Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.
2. Нашиф, А. Демпфирование колебаний / А. Нашиф, Д. Джоунс, Дж. Хендерсон. – М. : Мир, 1988. – 488 с.
3. Чернышев, В. М. Демпфирование колебаний механических систем покрытиями из полимерных материалов. – М.: Наука, 2004. – 288 с.
4. Борьба с шумом на производстве : справочник / Под ред. Е. Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.

Поступила 18.06.2020