

УДК 681.51:539.67

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕМПФУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

Осадчий О. А., Гончар В. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

В статті описано розроблену систему дослідження демпфуючих характеристик матеріалів, що ґрунтується на методі резонансних кривих. Автоматизована система контролю демпфуючих властивостей матеріалів дозволяє визначати логарифмічний декремент затухання коливань, внутрішнє тертя, модуль пружності і швидкість звуку на малогабаритних зразках у формі диску. Призначена для визначення характеристик нових інструментальних та конструкційних матеріалів, а також для контролю деталей, що працюють в складних вібраційних умовах.

***Ключові слова:** логарифмічний декремент коливань, добротність, демпфуючі властивості, резонансний метод.*

Вступ

Для деталей машин і механізмів, що працюють в режимах циклічного навантаження, все більше застосовують методи контролю демпфуючих властивостей. Їх знання дозволяє більш детально вивчати вплив структури на працездатність виробів.

Спроби знайти функціональний зв'язок між демпфуванням та іншими фізико-механічними характеристиками позитивних результатів не принесли, внаслідок чого демпфування прийнято рахувати однією з первинних фізичних характеристик матеріалу. Таким чином, контроль демпфуючих характеристик є не менш важливим в порівнянні з такими властивостями матеріалів як границя текучості, міцність, твердість та інші [1].

Кількісно демпфуючі властивості матеріалів (внутрішнє тертя) характеризуються як розмірними, так і безрозмірними параметрами. Серед них – абсолютне згасання, відносне згасання, тангенс кута запізнення по фазі деформації від прикладеного напруження, логарифмічний декремент коливань, добротність, коефіцієнт втрат. Ці характеристики можуть бути визначені різними методами. Серед них метод вільних згасаючих коливань, резонансний метод, метод наростаючих коливань, метод вузла гістерезиса, імпульсний метод.

Метою даної статті є створення системи контролю демпфуючих властивостей матеріалів на базі стійки «Звук-107», що ґрунтується на резонансному методі.

Для цього була розроблена оригінальна методика визначення демпфуючих характеристик матеріалів, основана на аналізі амплітудно-частотного спектру виробу.

Постановка задачі. Методика визначення резонансної частоти та демпфуючих характеристик

До параметрів, які належать визначенню за допомогою акустичних методів в першу чергу відносять такі пружні характеристики середовища, як модуль

нормальної пружності, зв'язана з ним швидкість розповсюдження пружних коливань, а також резонансна частота власних коливань зразка.

Частота власних коливань f будь-якого ізотропного тіла може бути в загальному вигляді представлена за формулою:

$$f = F(a, \mu) C_l,$$

де $F(a, \mu)$ – коефіцієнт форми, який залежить від геометричних розмірів тіла, його форми і коефіцієнта Пуассона;

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} - \text{швидкість розповсюдження пружних коливань в нескінченно до-}$$

вгому стержні, матеріал якого аналогічний матеріалу розглянутого тіла;

E – модуль пружності;

ρ – густина матеріалу.

Таким чином, знаючи для конкретного виробу коефіцієнт форми $F(a, \mu)$, ми по частоті власних коливань розраховували необхідний параметр.

Для будь-якого твердого тіла може бути визначено декілька частот власних коливань, які відповідають різним типам коливань (повздовжнім, згинальним та ін.), та різним модам коливань. Набір цих частот утворює частотний (резонансний) спектр виробу. При визначенні частоти власних коливань необхідно проводити вибір належної реєстрації моди коливань в частотному спектрі. При розробці методики контролю виробів конкретних розмірів і форми вирішували дві основні задачі: розшифровку частотного спектра (або виділення з його коливань конкретного типу) і визначення коефіцієнта форми.

В даній роботі ми використовували в якості демпфуючих елементів вставки в формі диска. Тому для розрахунків власних частот коливань важливо було визначити коефіцієнтів форми для тонкої круглої пластинки.

Для визначення коефіцієнтів форми при контролі виробів, які мають форму тонкої круглої пластинки, використовували результати, приведені в роботі Martincek G. [2], в якій отримані рішення для випадку двох нижніх мод коливання дисків. Вони представляють найбільший практичний інтерес, так як при використанні низьких резонансних частот полегшується їх ідентифікація. В роботах Баранова В. М. та Глаговського Б. А. [3] приведені результати практичного використання вказаних мод коливань для оцінки таких пружних параметрів матеріалу як модуль нормальної пружності і коефіцієнт Пуассона. Для розрахунку резонансних частот двох нижніх мод коливань дисків були використані залежності:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{w_1}{D} \cdot C_l \\ f_2 &= \frac{w_2}{D} \cdot C_l \end{aligned} \right\}$$

де f_1 – частота власних згинаючих коливань з двома взаємно перпендикулярними вузловими діаметрами; f_2 – частота власних згинаючих коливань з одним вузловим колом; D – зовнішній діаметр диска; w_1 і w_2 – безрозмірні коефіцієн-

ти, що залежать від коефіцієнта Пуассона μ і відношення висоти диску до його діаметру h/D .

Амплітуда коливань залежить від частоти. Із збільшенням частоти до резонансної (f_0), вона зростає до певного максимуму, а потім знову зменшується. Це резонансне перевищення називається також добротністю або коефіцієнтом добротності та позначається буквою Q .

Добротність зв'язана з логарифмічним декрементом згасання коливань співвідношенням:

$$Q = \frac{\pi}{\delta}.$$

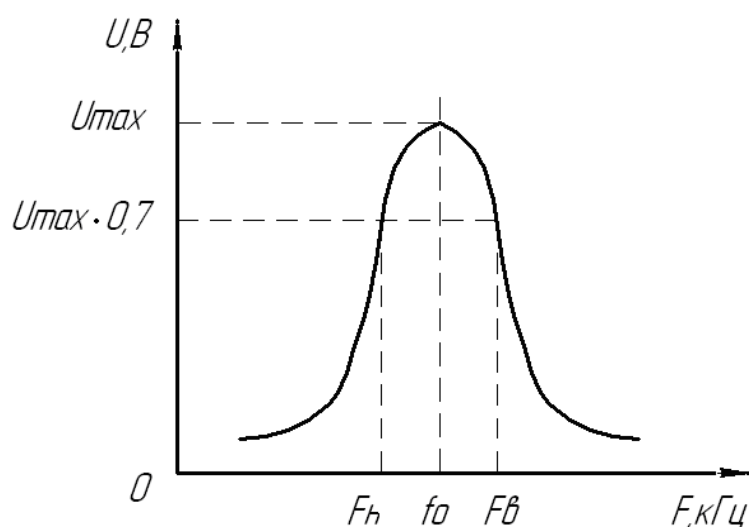


Рис. 1. Резонансний пік

Від добротності залежить ширина піка резонансної кривої. Якщо визначати ширину смуги резонансного максимуму B , вимірюючи її на висоті 70% (точніше при $1/\sqrt{2} = 0,707$) від максимального значення, то при не дуже сильному демпфіруванні, тобто при значеннях добротності, що перевищують 10, ми отримуємо співвідношення:

$$Q = \frac{f_0}{B},$$

де $B = F_b - F_h$, f_0 – частота, що відповідає максимальній амплітуді сигналу (рис. 1).

Розроблена методика була реалізована при створенні системи контролю демпфуючих властивостей матеріалів.

Автоматизована система контролю демпфуючих властивостей

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України створено автоматизовану систему контролю демпфуючих властивостей матеріалів на базі приладу «Звук-107», блок-схема представлена на рис. 2.

Вимірювальна установка складається із стійки «Звук-107», аналізатора спектру СК4-59, широкосмугового підсилювача УЗ-32, попереднього підсилювача, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) ADA 1406 і персонального комп'ютера (ПК). Система призначена для визначення демпфуючих характеристик (логарифмічного декременту коливань δ , добротності Q), а також дозволяє визначати швидкість звуку в матеріалі c та модуль пружності E .

Дослідження ґрунтуються на методі резонансних кривих. Зразку в формі диска надавали вимушені коливання в резонансній зоні і отримували експериментальні залежності величини амплітуди вимушених коливань від частоти.

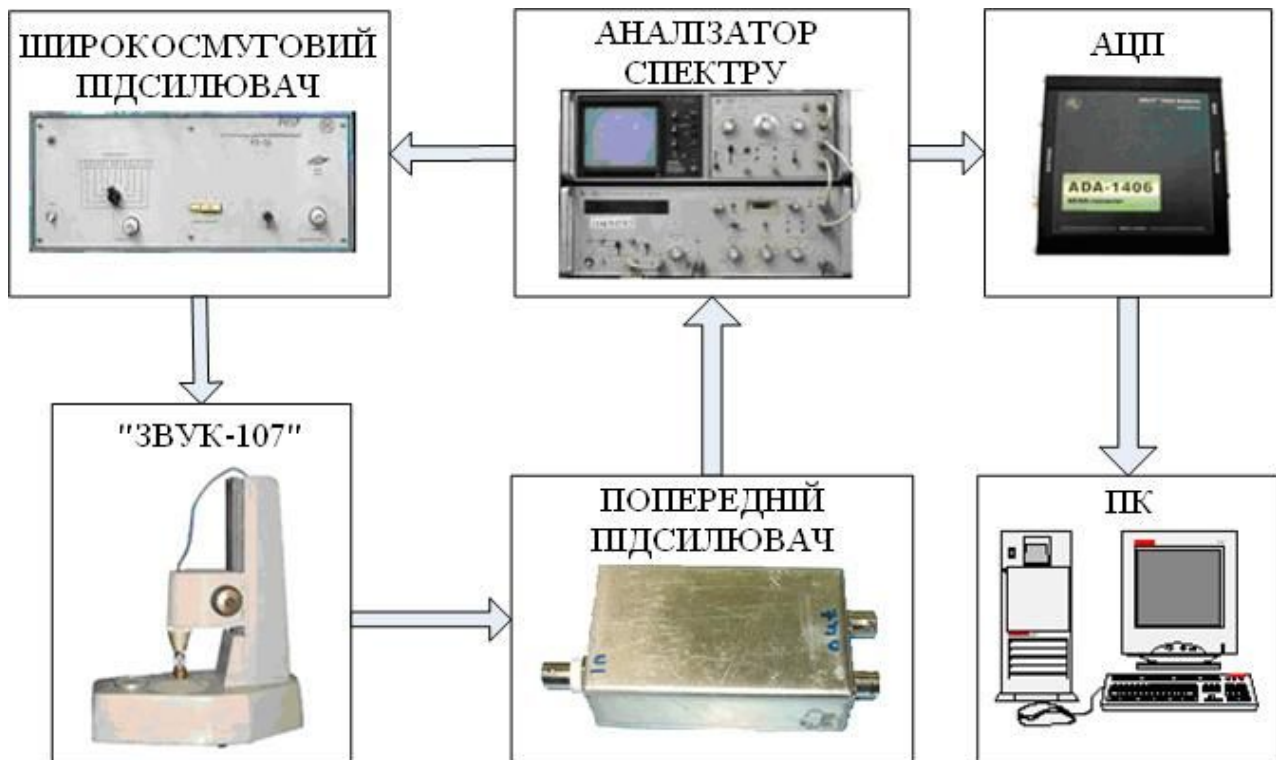


Рис.2. Автоматизована система контролю демпфуючих властивостей

Електричні синусоїдальні коливання створювали за допомогою генератора ка- чаючої частоти, які після підсилювача потужності У3-32 перетворювались в меха- нічні. Експериментальні зразки встановлювали між п'єзоелектричними випромі- нювачем і приймачем стійки "Звук-107". Випромінювач і приймач виконані в виді напівсфер для забезпечення контакту у точці. Сигнал з частотою від 0,05 МГц до 1,0 МГц з широкосмугового підсилювача У3-32 подавався на вхід аналізатору спектра. Збуджені в зразку коливання сприймалися п'єзоелектричним приймачем стійки "Звук-107", підсилювались і подавались на вхід аналізатора спектра СК4- 59, де спостерігали резонансні криві. Передачу даних з аналізатору спектра на ПК здійснювали за допомогою АЦП ADA 1406. Подальшу обробку даних проводили за допомогою програми PowerGraph 3.3 Professional.

Розроблена система дозволяє визначати демпфуючі характеристики в напів- автоматичному режимі. Спочатку данні записують в пам'ять ПК за допомогою АЦП. Далі відбувається їх попередня обробка в Power Graph. Після цього, за звичайною схемою (рис.3, ліва гілка алгоритму) вручну визначали значення U_{\max} , F_{\max} , F_B , F_H і за формулами, приведеними в методиці [4], розраховували Q і δ .

Розроблена програма Damping Properties 1.0, інтерфейс якої представлено на рис. 4, дозволила автоматизувати процес розрахунку демпфуючих характеристик матеріалів (рис. 3, права гілка алгоритму). Для цього данні з Power Graph зберігали в текстовий файл ("*.txt") і програма Damping Properties 1.0 автоматично розрахо- вувала резонансну частоту, добротність і логарифмічний декре- мент затухання коливань.

Розроблена програма Damping Properties 1.0 дозволила автоматизувати про

цес розрахунку демпфуючих характеристик матеріалів, що дозволило підвищити точність результатів та значно скоротити час на обробку експериментальних даних.



Рис. 3. Алгоритм розрахунку демпфуючих характеристик

Розроблена система дозволяє здійснювати контроль демпфуючих характеристик широкого ряду матеріалів, таких як тверді сплави, інструментальні та конструкційні кераміки, чавуни, кубічний нітрид бору та інші.

Із використанням розробленої системи були визначені характеристики матеріалів демпфуючих вставок, які використовувались для підвищення вібротійкості різального інструменту [5].

Практичне застосування системи

В якості демпфуючих вставок використовували ряд матеріалів з різними демпфуючими властивостями: сталь 40Х, твердий сплав ВК8, сірий чавун

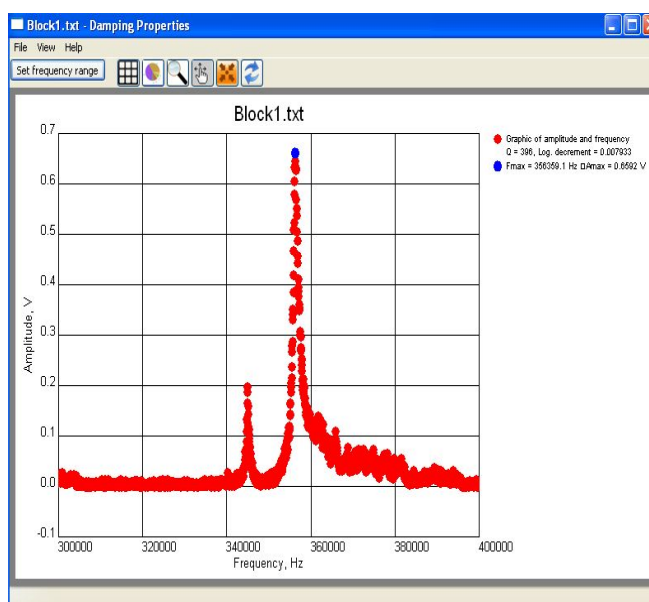


Рис. 4. Інтерфейс програми Damping Properties 1.0

СЧ15, нікеліди титану TiNi (литий та «авібрит»), трьохфазну кераміку Ti-Al-C, Ti-Si-C.

Визначення демпфуючих характеристик приведених матеріалів (логарифмічного декременту коливань δ) виконували за розробленою методикою. Отримані дані приведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Логарифмічний декремент коливань демпфуючих вставок

Матеріал вставок	Логарифмічний декремент коливань δ , %
Сталь 40X	0,202±0,001
ВК8	0,296±0,017
СЧ 15	0,667±0,023
Ti-Si-C	1,457±0,027
Ti-Al-C	3,007±0,021
TiNi (литий)	2,013±0,029
TiNi («авібрит»)	5,191±0,031

З розглянутих матеріалів найвищі демпфуючі властивості має «авібрит», композиційний матеріал, отриманий при високих тисках [6]. Литий нікелід титану поступається йому приблизно в 2,5 рази. Слід відмітити високі демпфуючі властивості у матеріалах на основі MAX наноламінатних фаз системи Ti-Al-C та Ti-Si-C, синтезованих із застосуванням високих тисків та температур [7]. Це нові та дуже перспективні матеріали, які мають високі значення тепло- та електропровідності, стійкі до руйнування і дії термічних ударів, жароміцні, при високих температурах поведуть себе, як пластичні матеріали, стійкі до окислення, мають низьку густину і істотну твердість, низький коефіцієнт тертя і можуть оброблятися механічними методами.

Висновки

Таким чином, розроблені метод та система контролю демпфуючих властивостей дозволяють визначати такі демпфуючі характеристики матеріалів як логарифмічний декремент коливань, добротність, а також такі базові характеристики як модуль пружності та швидкість звуку. Перспектива подальших наукових досліджень полягає в використанні розробленої системи для вирішення матеріалознавчих задач при створенні нових інструментальних та конструкційних матеріалів, а також для контролю деталей, що працюють в складних вібраційних умовах та в умовах циклічних навантажень.

Література

1. Фавстов Ю. К. *Металловедение высокодемпфирующих сплавов* / Ю. К. Фавстов, Ю. Н. Шульга, А. Г. Рахштадт. – М.: *Металлургия*, 1980. – 272 с.
2. Martinec G. Determination of Poisson's Ratio from Flexural Resonant Frequencies of Thick Disks. *J. of Sound and Vibration*, 2, 1965, p. 116-127.
3. Глаговский Б. А. *Контрольно-измерительные приборы и основы автоматизации производства абразивных инструментов: Учеб. пособие для машиностроит. техникум* / Б. А. Глаговский, Г. Ш. Ройтштейн, В. А. Яшин. – Л.: *Машиностроение*, Ленингр. отд-ние, 1980. – 278 с.
4. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L. M. Devin, V. P. Bondarenko, A. A. Osadchyi, T. V. Nimchenko // *Materials Science*, 45 (3), pp. 392-398
5. Девин Л. Н. Повышение эксплуатационных характеристик резцов из КНБ путем увеличения их демпфирующих свойств / Л. Н. Девин, А. А. Осадчий // *Сверхтвердые материалы*. – 2012. – № 5. – С. 62 – 71.
6. Шевченко А. Д. Новый материал с высокой демпфирующей способностью / А. Д. Шевченко, А. А. Шульженко // *Физика и техника высоких давлений*. – 1991. – том 1. – № 3 – С. 26 – 31.
7. Исследование демпфирующих свойств материалов на основе МАХ фазы Ti_3AlC_2 / А. В. Старостина, Т. А. Прихна, А. А. Осадчий, и др. // *Проблемы современного физического материаловедения*. – 2011. – № 20. – С. 73 – 79.

*Надійшла до редакції
07 травня 2015 року*

© Осадчий О. А., Гончар В. В., 2015

УДК 620.179.14

ЗАСАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ПОХИБКИ

ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З CNC

(Частина 2)

Скицюк В. І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

У попередній низці статей [1, 2, 3] вже розглядалися точка, крапка та риска як технологічні елементи впливу на загальну точність реалізації виробу. Було показано, яким чином утворюється геометрія цих елементарних фігур та який вплив вони мають як елементи