

УДК 621.91.01:543.1

О.В. Шевченко, О.О. ЖиволупНаціональний технічний університет України «КПІ», Україна
Тел.: +38 (096) 9478190; E-mail: deimos@ukr.net**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЕФЕКТИВНОГО ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ
РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ**

В статті розглянуто питання підвищення ефективності гасіння коливань різального інструменту при точінні з використанням різцетримача з орієнтованою жорсткістю з демпфером з пружними вставками. Наведено класифікацію динамічних гасників коливань та огляд методів визначення характеристик розсіювання енергії при коливаннях. Показано результати експериментальних досліджень, які визначають умови підвищення вібростійкості токарної обробки зі спеціальним різцетримачем. Доведена ефективність використання різцетримачів подібного типу в порівнянні зі штатними.

Ключові слова: гасник коливань, автоколивання, орієнтована жорсткість, токарна обробка, вібростійкість.

1. Вступ

Найважливішими вимогами, яким повинен відповідати будь-який металорізальний верстат є можливість забезпечення потрібної точності обробки та якості обробленої поверхні при високій продуктивності. Основною з причин, що обмежують можливість підвищення режимів різання, покращення якості оброблюваних поверхонь, підвищення продуктивності обробки, є виникнення і поширення недопустимих коливань при різанні. Коливання створюють значні додаткові динамічні навантаження, це знижує стійкість інструменту і точність обробки, зменшує довговічність роботи вузлів та верстата загалом [1].

2. Аналіз попередніх досліджень

Зниження коливань при різанні досягається різними способами – порівняно простими технологічними методами (змінюючи режимів різання і геометрії інструменту) та конструктивними – орієнтація головних осей жорсткості, забезпечення умов, при яких збільшення сили різання викликає відтік інструменту від оброблюваної деталі (ефект «додатної» жорсткості), використання методу динамічного гасіння коливань [2].

Суть методу динамічного гасіння коливань полягає у приєднанні до коливального об'єкта додаткових пристроїв з метою зміни характеру його коливань. Динамічний гасник коливань (ГК) створює додатковий силовий вплив, який передається об'єкту. При приєднанні до об'єкта динамічного гасника зміна характеру коливань відбувається двома способами: або за рахунок збільшення розсіювання енергії коливань, або перерозподілу коливальної енергії від об'єкта до ГК. Перший спосіб базується на дисипативних властивостях системи за рахунок приєднання до об'єкта додаткових спеціальних демпфіруючих елементів-поглиначів коливань. Їх застосування доцільне, коли на об'єкт діють коливання широкого частотного діапазону. При другому способі за допомогою зміни пружно-інерційних властивостей система «об'єкт - гасник коливань» адаптується до частот діючих збурень. На даний час розроблено велику кількість пристроїв і систем гасіння коливань, які можна класифікувати

за різними ознаками (рис. 1) [1, 2, 3]. Нижче наведені основні методи визначення характеристик розсіювання енергії при коливаннях.

Енергетичний метод. Метод ґрунтується на безпосередньому вимірі витрат електричної або механічної потужності збудника на підтримку усталених коливань досліджуваного зразка. Відносне розсіювання енергії в матеріалі досліджуваного зразка при його коливаннях визначається формулою [4]

$$\psi = \frac{N_1 - N_2}{f \cdot W}, \quad (1)$$

де N_1 – потужність збудника; N_2 – потужність, витрачена на підтримку коливань; f – частота усталених коливань зразка; W – потенційна енергія деформованого зразка, що відповідає амплітуді усталених коливань.

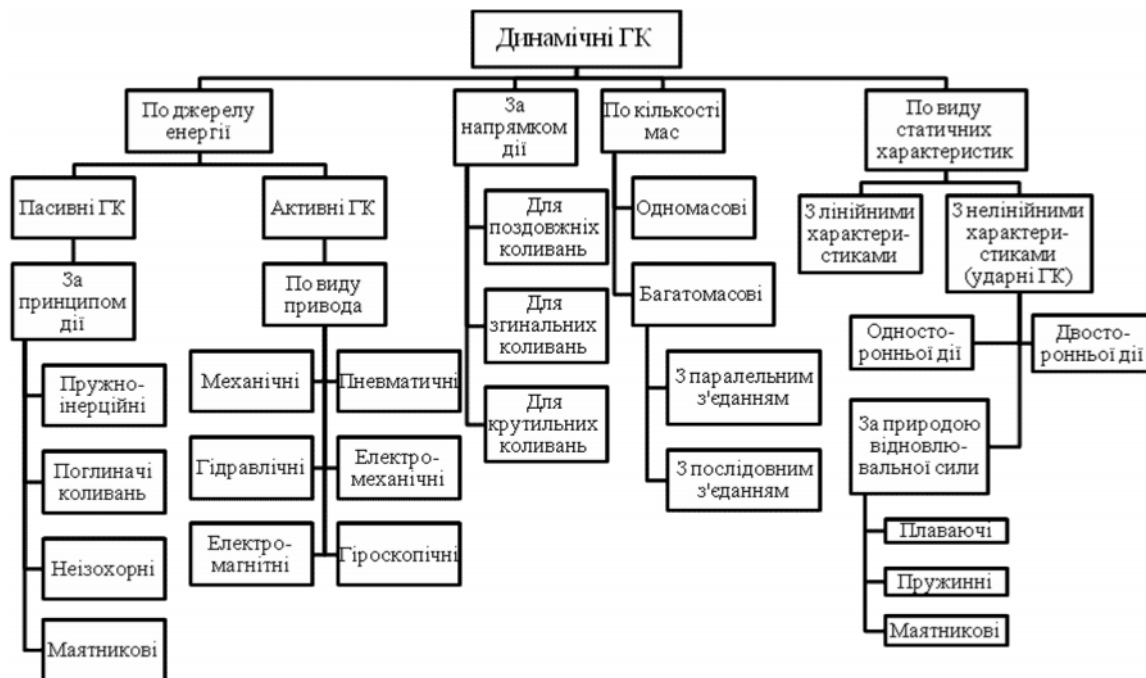


Рис. 1. Блок-схема класифікації динамічних гасників коливань

Термічний метод. Варіанти термічного методу оцінки демпфіруючих властивостей матеріалу ґрунтуються на вимірюванні кількості теплової енергії (за допомогою калориметра, або чутливих термопар), що виділяється в зразку в процесі коливань. Кількість енергії ΔW , що розсіюється в матеріалі зразка за цикл навантаження, визначається за формулою [4]:

$$\Delta W = \frac{Q}{t \cdot f}, \quad (2)$$

де Q – кількість теплової енергії; f – частота циклічного деформування зразка; t – проміжок часу вимірювань.

Метод статичної петлі гістерезису. Метод передбачає безпосереднє отримання петлі гістерезису (рис.2, а) в координатах – «напруга σ – деформація ε » шляхом заміру відповідних переміщень або деформацій при ступінчастому статичному навантаженні і розвантаженні зразка [4].

Демпфіруючі властивості матеріалу досліджуваного зразка характеризуються величиною відносного розсіювання енергії ψ , що визначається як відношення площі петлі гістерезису ΔW до пружної енергії W , що відповідає амплітуді деформації ϵ .

Метод динамічної петлі гістерезису. Метод зазвичай використовується для дослідження розсіювання енергії при напруженнях, рівних або вище межі витривалості. В цьому випадку шляхом одночасної реєстрації напруження і деформації в процесі повторно-змінного навантаження зразка отримують експериментальну петлю гістерезису, площа якої характеризує розсіювання енергії в матеріалі досліджуваного зразка [4].

Метод вільних затухаючих коливань. Цей метод є одним з найбільш поширених. У конструкції штучно створюються і потім реєструються вільні затухаючі коливання. Отримані віброграми (рис. 2, б) обробляють і згідно з формулою (3) визначають декремент коливань δ [1]:

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}. \quad (3)$$

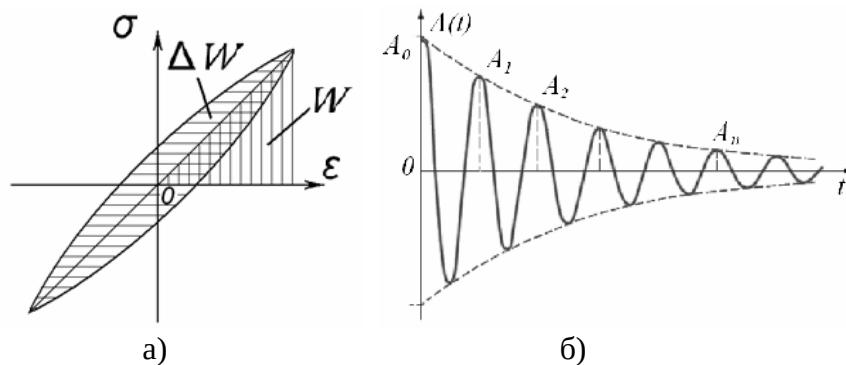


Рис. 2. Приклади петлі гістерезису (а) та графіку вільних затухаючих коливань (б)

При відносно малому затуханні для визначення декременту коливань по віброграмі остання розбивається на ряд ділянок з числом циклів n , що залежать від інтенсивності зменшення амплітуд. Середнє значення декременту на ділянці визначається за формулою:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_i}{A_{i+n}}. \quad (4)$$

Метод вимушених коливань (метод резонансу). Суть методу полягає в тому, що досліджувана конструкція піддається дії вимушених коливань з поступово зростаючою частотою. Декремент коливань визначають за формулою [1]:

$$\delta = \pi \frac{A_{\text{стат}}}{A_{\text{макс}}}, \quad (5)$$

де $A_{\text{стат}}$ - переміщення системи під дією статичної сили, рівної за величиною амплітуді збурюючої сили; $A_{\text{макс}}$ - максимальна амплітуда коливань при резонансі.

Фазовий метод. Метод ґрунтується на залежності кута зсуву фази γ між зовнішньою гармонійною силою і викликаним нею переміщенням (деформацією) пружної системи від рівня розсіювання енергії при коливаннях. Відносне розсіювання енергії в матеріалі визначається за формулою [4]:

$$\psi = 2\pi \left(1 - \frac{\omega^2}{p^2} \right) \operatorname{tg} \gamma, \quad (6)$$

де ω – частота збурюючої сили; p – власна частота пружної системи.

Метод кривої резонансу. Метод ґрунтується на залежності ширини резонансного піку амплітудної кривої переміщення і резонансної западини амплітудної кривої збурюючої сили від величини дисипативних сил. Демпфіруючі властивості матеріалу зразка оцінюються по ширині піку чи западини одержаної для нього експериментальної резонансної кривої (залежності амплітуди переміщення від частоти коливань при постійній амплітуді збуджуючої сили або залежності амплітуди збурюючої сили від частоти при постійній амплітуді коливань).

Метод резонансної частоти. Метод ґрунтується на залежності резонансної частоти системи від рівня незворотних втрат енергії в матеріалі пружного елемента.

Метод наростаючих резонансних коливань. Суть методу полягає в послідовному записі процесів зростання і усталених резонансних коливань, а також вільних затухаючих коливань після зриву збудження і дозволяє по одній осцилограмі отримати амплітудну залежність декременту коливань як при поступовому збільшенні амплітуди деформації, так і після початкової деформації зразка з максимальною амплітудою [4].

3. Основний зміст та результати роботи

Для дослідження ефективності використання демпферів для гасіння коливань в процесі точіння з метою підвищення режимів вібростійкого різання використано різцетримач [5] з рекомендованою схемою набору тарілчастих пружин [6, 7]. Відмінністю даного дослідження є визначення ефективності використання демпферу за схемою пакету з додатковими пружними вставками між тарілчастими пружинами (рис. 3). В якості вставок було використано такі матеріали: гуму товщиною 1 мм та 2 мм, ПВХ товщиною 1,5 мм та 2,5 мм, мідь (0,66 мм) та пароніт (1 мм). В даному дослідженні пакет складався з 16 тарілчастих пружин та 8 пружних вставок.

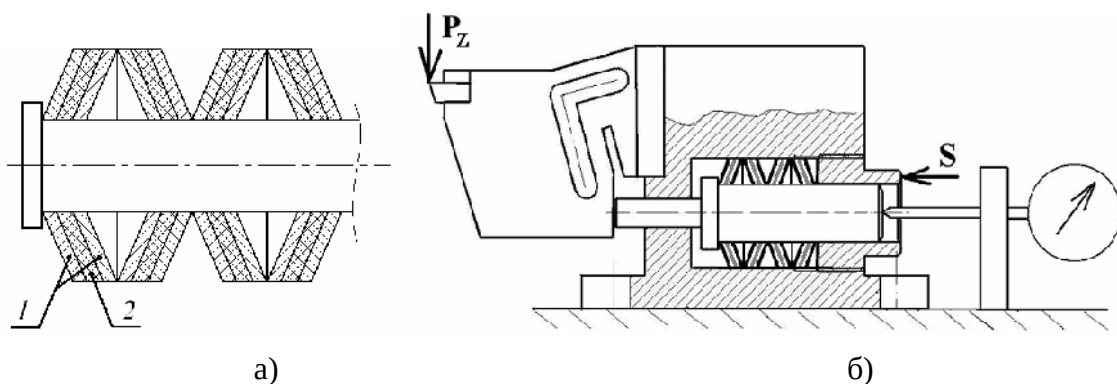


Рис. 3. Схема набору тарілчастих пружин з вставками з пружних матеріалів, де 1 – тарілчасті пружини; 2 – пружна вставка (а) та загальний вигляд і схема вимірювання пружних характеристик різцетримача (б)

В першій частині експериментів досліджувалися статичні характеристики різцетримача з пакетом при використанні вставок з вказаних матеріалів та без вставок (лише тарілчасті пружини) при силі S осьового затиску пакету від 0 до 4 кН. Схема вимірювання показана на рис. 3, б. Навантаження різцетримача здійснювалось

динамометром камертонного типу силою P_z в діапазоні $0 \div 4$ кН з одночасним заміром осевого переміщення штовхача за допомогою індикатора з ціною поділки $0,002$ мм.

За результатами дослідження було побудовано серію петель гістерезису для кожного варіанту використаних вставок та сили осевого затиску пакету. Як відомо з [1] – площа петлі гістерезису, що обмежена кривими навантаження та розвантаження конструкції дорівнює енергії, яка розсіюється за один цикл навантаження-розвантаження. Використовуючи це, можна відмітити, що найбільше розсіювання енергії було при використанні вставок з гуми товщиною 1 мм при сили затиску пакета 4 кН.

В другій частині експериментів досліджувалися динамічні характеристики різцетримача. Для цього були проведені дослідження вільних затухаючих коливань віджимної частини різцетримача внаслідок дії імпульсного навантаження без встановлення демпфера та з демпфером із вставками з різних матеріалів та різними силами затиску пакету. Блок-схема стенду наведена на рис. 4. В досліді імпульсний вплив здійснювався ударом молотка по пружній частині різцетримача в напрямку дії сили P_z , в цьому ж напрямку встановлювався п'єзоелектричний акселерометр мод. Д14. Далі сигнал з датчика через підсилювач ИШВ-1 та аналогово-цифровий перетворювач ADA-1406 надходили до ПЕОМ з програмним забезпеченням для цифрової обробки сигналів PowerGraph.



Рис. 4. Блок-схема стенду для дослідження вільних затухаючих коливань віджимної частини різцетримача

Таблиця 1. Логарифмічні декременти коливань для пружних вставок

Матеріал вставок, сила затиску пакету	Логарифмічний декремент коливань
Пароніт (1 мм)	0,7
Мідь (0,66 мм)	0,66
Гума (2 мм)	0,62
Гума (1 мм)	0,61
ПВХ (1,5 мм)	0,6
Без пружних вставок	0,5
ПВХ (2,5 мм)	0,46

Ефективність демпфірування коливань в напрямку тангенціальної складової сили різання оцінювалася експериментально за величиною логарифмічного декременту коливань, який визначався за методом вільних затухаючих коливань віджимної частини різцетримача внаслідок імпульсного удару молотка. Однакова величина імпульсу сили від удару молотка при випробуванні різних вставок в пакет пружин забезпечувалася підйомом його ударної частини шляхом повороту на однаковий кут навколо осі на кінці

рукоятки молотка. Для розрахунку величини логарифмічного декременту коливань використано формулу (3) для першої та другої хвиль коливань. Результати обробки отриманих віброграм показані в таблиці 1. Наведено результати тільки для сили затиску пакету $S = 4$ кН, тому що при цій силі затиску всі пакети мають найкращі демпфіруючі властивості.

Нижче на рис. 5 та рис. 6 наведено віброграми та амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) вільних коливань консольної частини різцетримача без демпфера (рис. 5, а, рис. 6, а) та з демпфером із вставками з пароніту при силі затиску пакету $S = 4$ кН (рис. 5, б, рис. 6, б).

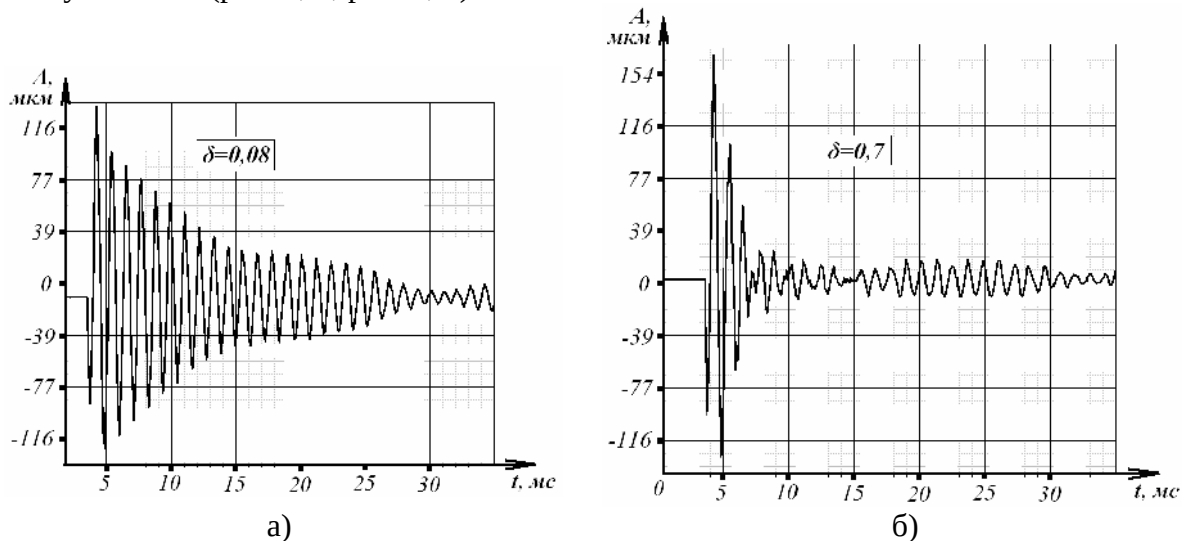


Рис. 5. Віброграми затухаючих коливань різцетримача: а – без демпфера, б – з демпфером із вставками з пароніту при силі затиску пакету $S = 4$ кН

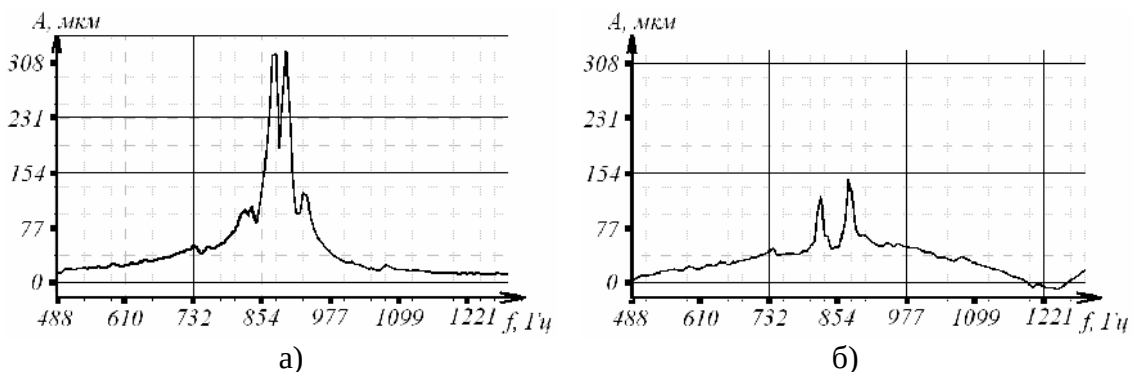


Рис. 6. АЧХ затухаючих коливань різцетримача: а – без демпфера, б – з демпфером із вставками з пароніту при силі затиску пакету $S = 4$ кН

4. Висновки

Аналіз попередніх досліджень стосовно методів гасіння коливань при різанні дозволив визначитись з найбільш доступним та достатньо точним методом визначення логарифмічного декременту коливань, а саме, методом вільних затухаючих коливань. Для використання цього методу при дослідженні демпфіруючих характеристик інструментального оснащення розроблено стенд та підібрано комплект вібродіагностичної апаратури. Розроблена методика, що дозволяє проводити статичні та динамічні випробування різних динамічних гасників коливань і можливість

порівнювати їх за демпфіруючими характеристиками та отримувати вихідну інформацію для подальшого вдосконалення конструкцій в напрямку підвищення режимів вібростійкого точіння.

Список літератури:

1. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. - Киев: Техника, 1975.- 136 с.
2. Орликов М.Л. Динамика станков: Учеб. пособие для вузов.-2-е изд. перераб. и доп. - Киев: Выща школа, 1989. - 272 с.
3. Коренев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1988. – 304 с.
4. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Методы определения характеристик демпфирования колебаний упругих систем. – Киев: Наукова думка, 1976. – 85 с.
5. Різцетримач: Патент України на корисну модель № 21427: МПК В23В 29/03/ Шевченко О.В., Вакуленко С.В., Дюмін В.А. – Опуб. 15.03.2007, Бюл. № 3. – 3 с.
6. Шевченко О.В., Вакуленко С.В. Підвищення вібростійкості токарної обробки різцетримачем з орієнтованим центром жорсткості. // Прогресивні технології і системи машинобудування: між нар. зб. наук. пр. – Донецьк, 2007. – Вип. 33. – с. 337-341.
7. Шевченко О.В., Живолуп О.О. Ефективний спосіб підвищення вібростійкості пружної системи верстата при токарній обробці. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Зб. наук. пр. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – Вип. 11. – с.114-124.

Надійшла до редколегії 29.05.2012 р.

А.В. Шевченко, А.А. Живолуп ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЭФФЕКТИВНОГО ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности гашения колебаний режущего инструмента при точении с использованием резцедержателя с ориентированной жесткостью с демпфером с упругими вставками. Приведена классификация динамических гасителей колебаний и обзор методов определения характеристик рассеивания энергии при колебаниях. Показаны результаты экспериментальных исследований, которые определяют условия повышения виброустойчивости токарной обработки со специальным резцедержателем. Доказана эффективность использования резцедержателей подобного типа по сравнению со штатными.

Ключевые слова: гаситель колебаний, автоколебания, ориентированная жесткость, токарная обработка, виброустойчивость.

O.V. Shevchenko, O.O. Zhivolup RESEARCH OF METHODS OF THE EFFECTIVE VIBRATION DAMPING OF THE CUTTING TOOLS AT TURNING

The article deals with the issue of increasing the efficiency of damping the cutting tool in turning with toolholder with an oriented stiffness and vibration damper with elastic inserts. A classification of dynamic vibration dampers and an overview of methods for determining the characteristics of energy dissipation during vibrations are given. The results of experimental researches that determine the conditions for improving of the chatter stability of turning by special toolholder are presented. The efficiency of this type of toolholder as compared with the standard is proved.

Key words: vibration damper, autooscillation, oriented stiffness, turning, chatter stability.