

УДК 621.9.01

Максим Новіцький; Андрій Сліпчук, к.т.н., доц.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕМПФЕРІВ КОЛИВАНЬ В КОНСТРУКЦІЇ ВІБРОСТІЙКОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Анотація. Розглянуто особливості використання сухого та в'язкого тертя в конструкціях металорізного інструменту в якості демпфера енергії коливань. Розроблено та досліджено математичну модель двомасової коливальної схеми вставного ножа збірної фрези, одна із мас якої моделює защемлену частину ножа – пресове з'єднання із сухим тертям, а інша – консольну частину, що піддається впливу автоколивань, які можливі в процесі різання металу. Проаналізовано вплив сухого тертя в пресовому з'єднанні ножа на амплітуду резонансних коливань різця та деталі. Показано можливість ефективного гасіння амплітуди автоколивань різця за рахунок оптимального вибору параметрів пресового з'єднання вставних ножів із корпусом збірної фрези. Проведено оцінку впливу внутрішнього в'язкого тертя в матеріалах із високим рівнем демпфування енергії на амплітуду автоколивань різця та розглянуто можливість їх використання в конструкції вібростійкого металорізного інструменту. Ключові слова: автоколивання, демпфування енергії коливань, конструкційне демпфування, амплітуда коливань, якість поверхні деталі.

Maksym Novitskyi; Andrii Slipchuk, Ph.D., Assoc. Prof.

FEATURES OF THE USE OF VIBRATION DAMPERS IN THE DESIGN OF VIBRATION-RESISTANT METAL CUTTING TOOLS

Abstract. The paper considers the features of using dry and viscous friction in the construction of metal-cutting tools as a damper of oscillation energy. A mathematical model of a two-mass oscillatory scheme of the insertion knife of a assembled milling cutter was developed and studied, one of the masses of which models the clamped part of the knife - a press connection with dry friction, and the other - the cantilever part, which is subject to self-oscillations that are possible in the process of metal cutting. The influence of dry friction in the press joint of the knife on the amplitude of resonant oscillations of the cutter and the part was analyzed. The possibility of effective damping of the amplitude of self-oscillations of the cutter due to the optimal choice of parameters of the press connection of insert knives with the body of the assembled milling cutter is shown. The influence of internal viscous friction in materials with a high level of energy damping on the amplitude of self-oscillations of the cutter was evaluated and the possibility of their use in the design of a vibration-resistant metal-cutting tool was considered.

Keywords: self-oscillation, damping of vibration energy, structural damping, vibration amplitude, surface quality of the part.

В сучасному машино-, приладо- і кораблебудуванні, особливо в авіаційній і ракетній техніці, хімічному і енергетичному машинобудуванні паралельно з полімерними композиційними матеріалами широке використання знаходять корозійно-стійкі та жароміцні сталі і сплави.

Всі ці матеріали належать до важкооброблюваних. При їх обробці різанням спостерігаються більш інтенсивні вібрації, чим при різанні вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей при тих же умовах, що призводить до втрати якості поверхні деталей.

Характерною особливістю процесу різання важкооброблюваних сплавів є схильність пружної технологічної системи до інтенсивних вібрацій. У випадку жароміцних титанових сплавів це пояснюється, перш за все, великими значеннями нормальної складової сили різання відносно тангенціальної. Причиною служить мала пластичність та високі коефіцієнти тертя титанових сплавів. Крім цього, різко виражена елементність стружки, яка росте із збільшенням перерізу зрізу та швидкості різання, а також нестійке наростування та заїдання служать додатковим джерелом збудження параметричних та вимушених коливань. У випадку оброблення різанням корозійно-стійких і жароміцних сплавів виникають інтенсивні автоколивання технологічних систем. Це пояснюється як великими силами різання так і великими значеннями коефіцієнта усадки стружки. Це призводить до збільшення фазової характеристики сили різання (відставання до критичних значень) і, як наслідок, різкого збільшення амплітуди автоколивань.

Колівання, які виникають в металорізальних верстатах під час обробки цих матеріалів суттєво ускладнюють процес отримання якісної поверхні деталі та зменшують стійкість інструментів.

Одним із основних та ефективних методів зменшення амплітуди вимушених та параметричних коливань технологічних систем є відходження від резонансу. Елементність стружки та сам процес стружкоутворення у випадку оброблення титанових сплавів має яскраво виражену частотну складову. Виходячи з цього, по можливості, і вибирають режими різання [1]. Якщо використання таких режимів різання є неможливе, то для зменшення амплітуди коливань використовують явища демпфування в системі ВПД, що теж може давати позитивний ефект, оскільки вони відбуваються біля резонансу.

У випадку автоколивань, які здійснюються на резонансній частоті різця та деталі, то ефективним методом боротьби з цим явищем є лише демпфування. Демпфування буває активне та пасивне. Демпфування слід вводити в той елемент системи ВПД, маса якого є найменшою [2]. Тобто, якщо маса різця є меншою від маси деталі, то демпфувати необхідно коливання різця. Одним із ефективних демпферів таких коливань є гістерезис елементів ВПД. Гістерезис може бути як конструкційним [2], який відбувається в нерухомих з'єднаннях механізмів технологічних систем, так і внутрішнім, який виникає в матеріалах, що мають високий рівень розсіювання енергії коливань.

Активні демпфери більш ефективні. Їх дія заснована на створенні протифазної вібрації сили за допомогою різних джерел коливань [4]. Джерелами коливань можуть служити електричні, гідравлічні та пневматичні перетворювачі [5]. Система управління активного демпфера дозволяє змінювати частоту протифазної сили в досить широких межах, що дозволяє значно розширити область застосування даних пристроїв, але застосування даного виду демпферів обмежується їх надмірною складністю, високою вартістю і збільшенням споживання електроенергії.

В даній роботі розглядається спосіб визначення демпфувальної здатності ріжучого інструмента – вставного ножа збірної фрези в процесі його резонансних коливань та визначаються межі існування оптимальних значень сили тертя в пресовому з'єднанні вставного ножа для ефективного демпфування автоколивань системи ВПД. Також, для порівняння, розглядається такий перспективний напрям зменшення амплітуди автоколивань технологічної системи ВПД як демпфування енергії, засноване на використанні матеріалів, що мають високий рівень внутрішнього розсіювання енергії коливань.

Як видно на рис. 1,а, ніж 3 встановлено в паз фрези 1 та закріплено пресовим з'єднанням з допомогою клина 2. В більшості випадків самі ножі виконують у вигляді

клина, однак така конструктивна схема є складнішою для розрахунків (несиметричною), тому розглянемо простішу схему, оскільки всі подальші висновки будуть справедливими і для складніших схем кріплення.

Як відомо [2], в процесі навантаження пресового з'єднання осьовою силою, деформація, викликана цією силою, поширюватиметься на певну величину, яка буде пропорційною відношенню цієї сили до величини сили тертя пресового з'єднання. І якщо ці сили будуть рівними, то відбудеться зсув деталі в з'єднанні. В даному випадку зсув деталі буде неможливий, оскільки задній торець вставного ножа впирається в торець паза корпусу фрези. Однак робота сили тертя буде здійснюватися на всій довжині пресового з'єднання. Якщо ж величина осьової сили буде меншою від сили тертя, то настільки ж меншою буде зона деформації, і меншою буде робота сили тертя.

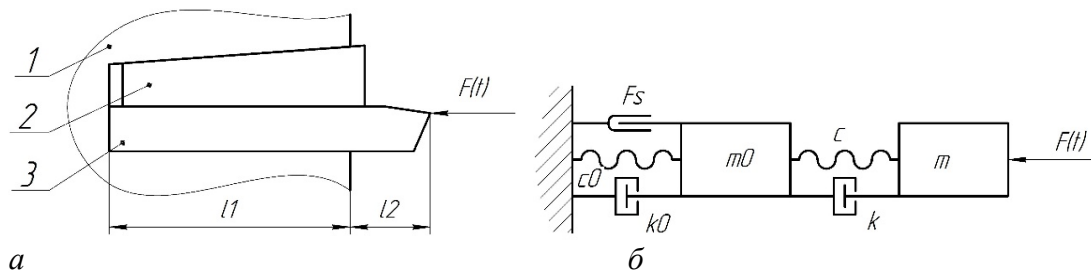


Рис. 1. Конструктивна (а) та розрахункова (б) схеми пресового з'єднання

Розрахунок демпфування в такому з'єднанні можливо (і доцільно) виконати за допомогою методу скінченних елементів із рухомими границями, оскільки величина зони деформації визначатиме жорсткість та рухому масу ножа. Однак цей метод, на жаль, ще не впроваджено в такі програми як MATLAB чи SolidWorks, тому його використання вимагає серйозної професійної кваліфікації в даному напрямі теоретичних досліджень. Другим недоліком цього методу є те, що математичне моделювання автоколивань металорізального верстата можливе лише в дискретній моделі, а використання континуальної моделі в дискретній є неможливе.

Для вирішення цієї проблеми і здійснюється спроба описати конструктивну схему, подану на рис. 1,а системою диференціальних рівнянь (1), розрахункову схему якої показано на рис. 1,б.

Як видно із розрахункової схеми, масу вставного ножа умовно замінено двома приведеними масами m та m_0 , а жорсткість – двома жорсткостями c та c_0 . Причому на масу консолі ножа m діє лише демпфер в'язкого внутрішнього тертя в його матеріалі, а на масу защемленої частини ножа ще й сила тертя.

$$\frac{d^2x}{dt^2}m - c(x - x_0) - k\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx_0}{dt}\right) + F(t) = 0$$

$$\frac{d^2x_0}{dt^2}m_0 + c(x - x_0) + k\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx_0}{dt}\right) - cx_0 - k_0\left(\frac{dx_0}{dt}\right) - F_s = 0$$

Аналіз результатів математичного моделювання вказує на те [2], що оптимальне значення контактного тиску в пресовому з'єднанні вставних ножів збірної фрези може суттєво зменшити амплітуду автоколивань системи ВПД, а запропонована розрахункова схема, суть якої полягає в заміні одномасової схеми на двомасову, на якісному рівні адекватно описує коливання вставних ножів і може бути використана в математичному моделюванні автоколивань в металорізальних верстатах.

Застосування інструменту з підвищеними внутрішніми дисипативними властивостями теж дозволяє знизити амплітуду автоколивань в технологічній системі верстата, що виникають в процесі різання важкооброблюваних сталей і сплавів.

В цьому плані перспективним є напрям створення універсальних державок для різців із механічним кріпленням багатогранних пластин, які можуть бути виготовлені із сплавів високого демпфування, що широко використовуються в промисловості для виготовлення корпусних деталей дизельних двигунів внутрішнього згорання, рамних опорних конструкцій, пружних опор прецизійних верстатів, зубчастих коліс, лопаток парових та газових турбін з метою зменшення їх акустичної та вібраційної активності, а також підвищення втомної міцності.

Одним із перспективних матеріалів для виготовлення вібростійких державок різців є чавуни із пластинчатим графітом [2], причиною високого демпфування енергії в яких є мікропластичні деформації металічної матриці та графітових включень. Через це, демпфування в чавунах із глободним графітом є значно меншим, а демпфування в білому чавуні є близьке до сталі. Хоча фізико-механічні характеристики чавуну і дещо поступаються негартованій сталі 45, в більшості випадків вони є цілком достатніми для використання їх в якості матеріалу державок, особливо із врахуванням того факту, що логарифмічний коефіцієнт затухання в чавунах із зростанням температури – зростає (як і в сталях). Також слід відмітити високу залежність логарифмічного декременту чавунів від величини напруження, тобто демпфування зростає із збільшенням напруження в матеріалі державки.

Виготовлення універсальних державок різців та оправок із сплавів високого демпфування теж може суттєво підвищити вібростійкість інструменту в процесі різання корозійностійких та жароміцних хромонікелевих сталей і сплавів, а хоч матеріали із високим внутрішнім демпфуванням мають менші значення декременту згасань, їм властивий більш широкий частотний діапазон.

Отже, явище розсіювання енергії коливань в місці кріплення інструмента, або в самому інструменті, може використовувати для запобігання або обмеження коливань, що виникають в процесі різання важкооброблюваних матеріалів. При цьому демпфування в пресових з'єднаннях різців збірних інструментів доцільніше використовувати у випадку чорнових проходів, а використання сплавів із високим внутрішнім демпфуванням – для чистових.

Перелік посилань

1. Stupnytskyu V., Novitskyi Y., Novitskyi Y., Xianning S. Comprehensive system for simulation of vibration processes during the titanium alloys machining // *Archive of Mechanical Engineering*. – 2023. – Vol. 70, iss. 1. – P. 85–105.

2. Maksym Novitskyi, Yurii Novitskyi, Andrii Slipchuk. The possibility of using structural damping in the design of a prefabricated turning cutter to reduce the amplitude of self-oscillations in the process of metal cutting. *UJMEMS.2023;Volume 9, Number 4*: 44-50.

3. Внуков Ю. Н. Применение модуляции скорости главного движения фрезерного станка для гашения регенеративных автоколебаний при фрезеровании тонкостенных деталей / Ю. Н. Внуков, В. В. Натальчишин, А. И. Гермашев, М. В. Кучугуров, С. И. Дядя // *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. Серія : *Машинобудування*. - 2014. - № 3. - С. 12-17.

4. Внуков Ю. М., Дядя С. І., Кучугуров М. В., Кондратюк Є.В. Пристрій для дослідження автоколивань при токарній обробці. Патент України UA101906. (2015).