

Ю. Я. Новіцький, Я. М. Новіцький*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування,

*кафедра деталей машин

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРЕСОВОГО З’ЄДНАННЯ ВСТАВНИХ НОЖІВ ЗБІРНИХ ФРЕЗ

© Новіцький Ю. Я., Новіцький Я. М., 2016

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 зазнає впливу автоколиваний, які можливі в процесі різання металу. Проаналізовано вплив сухого тертя у пресовому з’єднанні ножа на амплітуду резонансних коливань різця та деталі. Показано можливість ефективного гасіння амплітуди автоколиваний різця за рахунок оптимального вибору параметрів пресового з’єднання вставних ножів із корпусом збірної фрези.

Ключові слова: автоколивання, конструкційне демпфування, якість поверхні деталі.

Developed and researched mathematical model two-mass vibrating system embedded team knife mills, one of which simulates the weight of the knife jammed – forging connections with dry friction, and the other – the console portion that is exposed to oscillations that are possible in the process of cutting metal. The influence of dry friction in forging a knife in conjunction amplitude resonance vibrations of the tool parts. The possibility of effectively extinguishing the amplitude of oscillation of the tool by selecting optimal parameters press connection plug blade cutter housing team.

Key words: self-oscillation, structural damping, quality of surface details.

Постановка проблеми. Автоколивання, які можуть відбуватися в металорізальних верстатах під час обробки деяких матеріалів, суттєво ускладнюють процес отримання якісної поверхні деталі та зменшують стійкість інструментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки автоколивання здійснюються на резонансній частоті різця та деталі, то ефективним методом боротьби з цим явищем є демпфування [1]. Демпфування доцільно вводити в той елемент системи ВПД, маса якого є найменшою [2]. Тобто якщо маса різця менша від маси деталі, то демпфувати необхідно коливання різця. Одним із ефективних демпферів таких коливань є конструкційний гістерезис елементів ВПД [3], який відбувається у нерухомих з’єднаннях механізмів.

Формулювання мети дослідження. У роботі розглянуто спосіб визначення демпфувальної здатності ріжучого інструмента – вставного ножа збірної фрези в процесі його резонансних коливань та визначено межі існування оптимальних значень сили тертя у пресовому з’єднанні вставного ножа для ефективного демпфування автоколиваний системи ВПД.

Викладення основного матеріалу дослідження. Як видно на рис. 1, а, ніж 3 встановлено в паз фрези 1 та закріплено пресовим з’єднанням за допомогою клина 2. Самі ножі здебільшого виконують у вигляді клина, однак така конструктивна схема складніша для розрахунків (несиметрична), тому розглянемо простішу схему, оскільки всі подальші висновки будуть справедливими і для складніших схем кріплення.

Як відомо [3], в процесі навантаження пресового з'єднання осью силою деформація, спричинена цією силою, поширюватиметься на певну величину, яка буде пропорційною до відношення цієї сили до величини сили тертя пресового з'єднання. І якщо ці сили будуть рівними, то відбудеться зсув деталі в з'єднанні. В цьому випадку зсув деталі неможливий, оскільки задній торець вставного ножа впирається в торець паза корпусу фрези. Однак робота сили тертя здійснюватиметься на всій довжині пресового з'єднання. Якщо ж величина осьової сили буде меншою від сили тертя, то настільки ж меншою буде зона деформації, меншою буде і робота сили тертя.

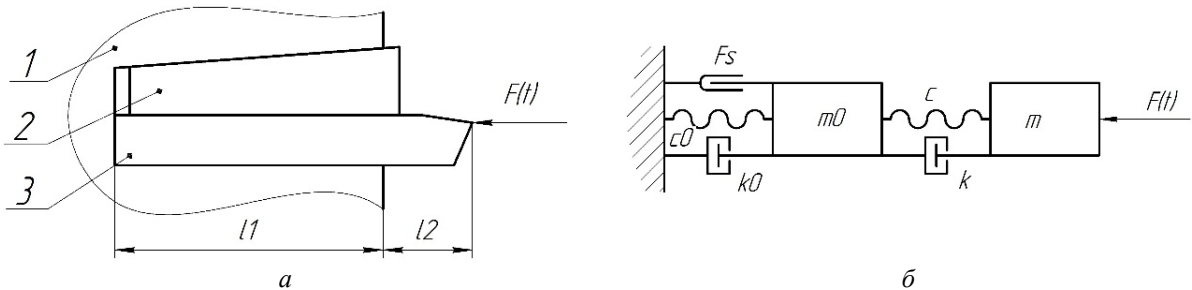


Рис. 1. Конструктивна (а) та розрахункова (б) схеми пресового з'єднання

Розрахунок демпфування в такому з'єднанні можливо (і доцільно) виконати за допомогою методу скінчених 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 потребує серйозної професійної кваліфікації в цьому напрямі теоретичних досліджень. Другим недоліком цього методу є те, що математичне моделювання автоколиваний металорізального верстата можливе лише в дискретній моделі, а використання континуальної моделі в дискретній неможливе.

Для вирішення цієї проблеми і зроблено спробу 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.

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2}m - c(x - x_0) - k\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx_0}{dt}\right) + F(t) &= 0 \\ \frac{d^2x_0}{dt^2}m_0 + c(x - x_0) + k\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx_0}{dt}\right) - cx_0 - k_0\left(\frac{dx_0}{dt}\right) - F_s &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Розрахунок математичної моделі виконаємо для випадку, коли сила збудження $F(t)=0$, а початкове значення координати $x=1 \times 10^{-6}$ м, що в поєднанні із величиною жорсткості консольної частини ножа створить початкову силу жорсткості 2100 Н (кінематичне збудження коливаний ножа внаслідок його взаємодії із твердим включенням, величиною 1 мкм). Жорсткість та приведена маса защемленої частини ножа в цій моделі залежать від співвідношення сил жорсткості та тертя.

Для зручності оцінки впливу сили сухого тертя на згасання коливаний виключимо вплив в'язких демпферів, тобто $k_0 = k = 0$.

Як відомо, частота коливаний, що згасають, близька до частоти власних коливаний системи, тому оцінку демпфування виконуватимемо для коливаний, що загасають, збуджених початковою умовою.

Демпфування коливаний, що загасають, визначатимемо за величиною логарифмічного декременту згасань, що визначається за формулою

$$\delta_i = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}, \quad (2)$$

де A_n – амплітуда n -го періоду коливаний; A_{n+1} – амплітуда наступного періоду.

Результати виконаного у такий спосіб математичного моделювання для випадку, коли величина сили тертя становить 800 Н, представлено на рис. 2–4.

На рис. 2 зображено амплітуду коливань консольної маси вставного ножа фрези, а на рис 3 – амплітуду коливань його защемленої маси (часові розгортки).

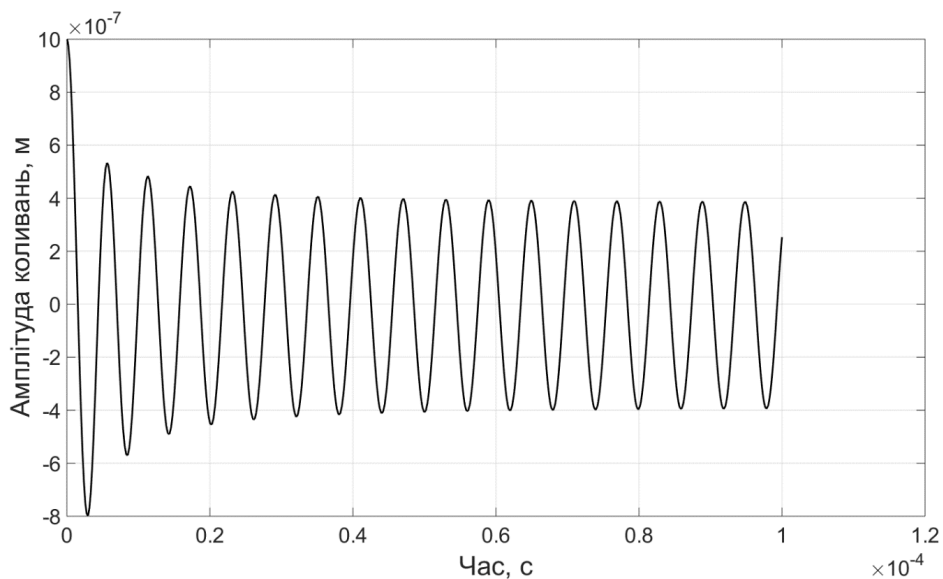


Рис. 2. Коливання консольної частини ножа фрези

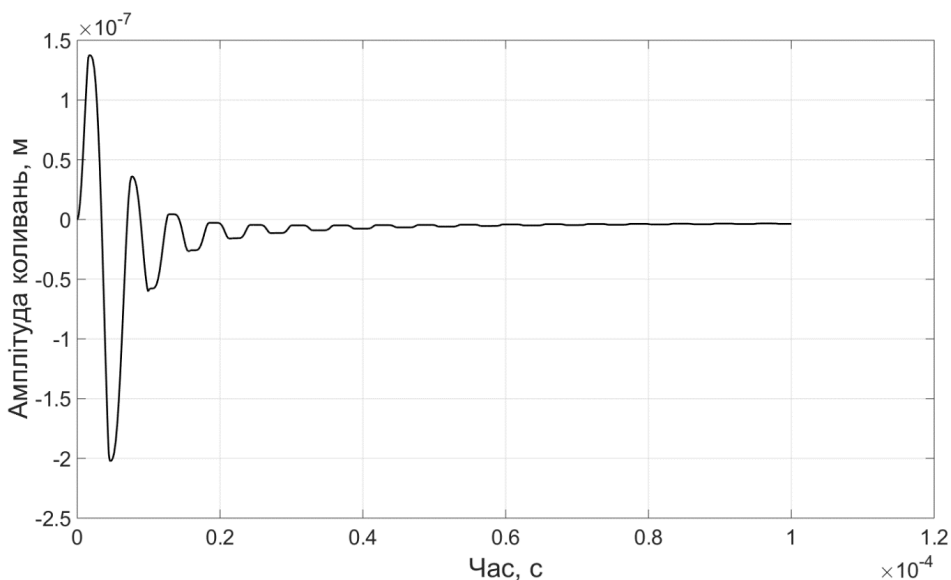


Рис. 3. Коливання защемленої частини ножа фрези

Із аналізу цих рисунків видно, що коливання консольної маси (частини) ножа згасають лише до певного значення, а саме доти, доки відбуваються зміщення (коливання) у защемленій частині ножа. Відсутність демпфування на рис. 2 пов'язана із відсутністю зміщень на рис. 3.

Якщо проаналізувати зв'язок демпфування коливань консольної частини ножа із силою його жорсткості, тобто із силою взаємодії консольної частини ножа із защемленою (рис. 4), то очевидним стає факт впливу відношення сил жорсткості та тертя на наявність зміщень. У цьому випадку значення сили тертя в защемленій частині ножа становить 800 Н і, як видно із рис. 4, зміщення в защемленій частині ножа спостерігаються лише тоді, коли значення сили пружності більше за 800 Н.

Оскільки робота сили тертя є добутком цієї сили на переміщення в защемленій частині ножа фрези, а значенням цього переміщення ми безпосередньо керувати не можемо, то проаналізуємо вплив сили тертя у защемленій частині ножа фрези на демпфування коливань консольної частини.

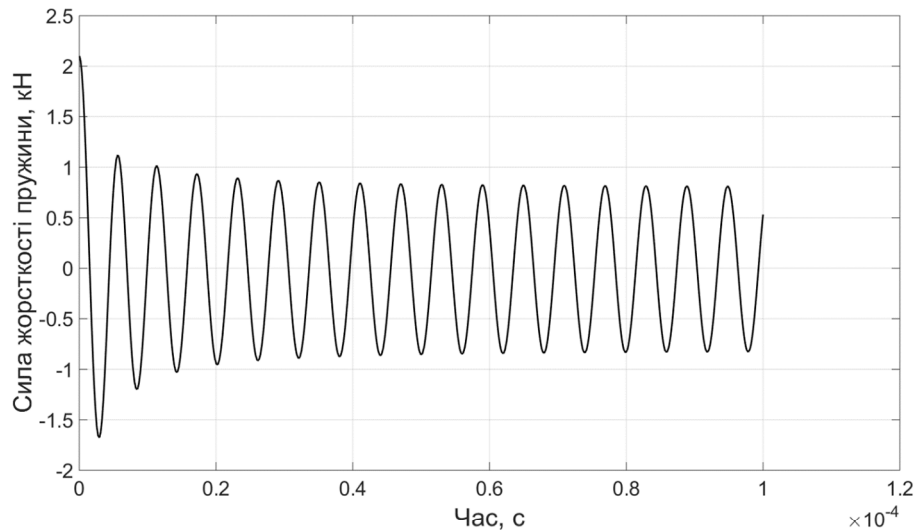


Рис. 4. Дія сили жорсткості на зацмлену частину ножа фрези

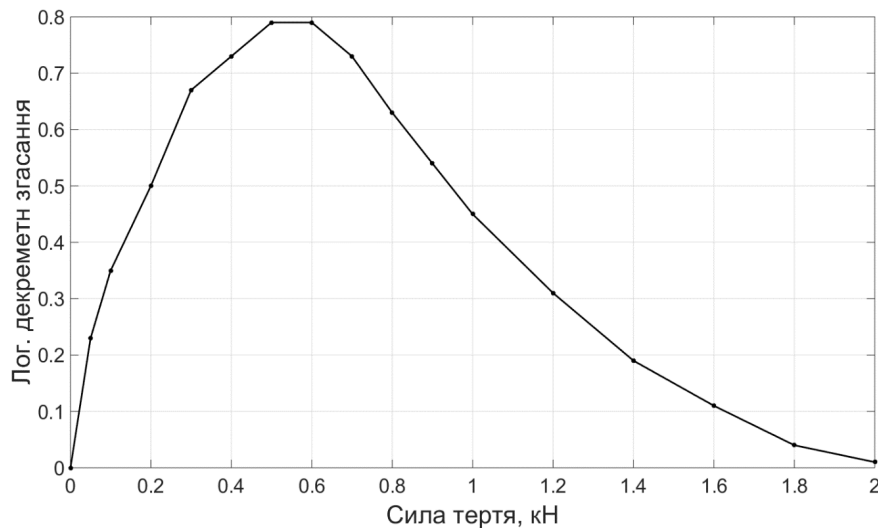


Рис. 5. Залежність згасання коливань ножа від сили тертя у з'єднанні

На рис. 5 зображено залежність логарифмічного декременту коливань від значення сили тертя в пресовому з'єднанні вставного ножа фрези. Логарифмічний декремент згасання коливань визначено із графічної залежності (рис. 2) за формулою (2), побудованою для різних значень сили тертя у пресовому з'єднанні консольної частини ножа. Оскільки значення декременту згасання для кожного періоду коливань було різним (зменшувалося), то за основу взято значення першого періоду. Як видно із рисунка, ця залежність має яскраво виражений оптимум, що якісно збігається із [3].

Висновок. Оптимальне значення контактного тиску в пресовому з'єднанні вставних ножів збірної фрези може істотно 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 використовуватись у математичному моделюванні автоколивань в металорізальних верстатах.

1. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1968. – 184 с. 2. Новіцький Я. Особливості конструкційного демпфування автоколивань металорізальних верстатів / Я. Новіцький, Ю. Новіцький // 12-й міжнар. симп. українських інженерів-механіків у Львові: тези доповідей. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. – 2015. – С. 92–93. 3. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / Я. Г. Пановко. – М.: Гос. изд. физ-мат. лит., 1960. – 190 с.