УДК 621.91

Дядя С.І., канд. техн. наук, доцент
Козлова О.Б., канд. техн. наук, доцент
Тришин П.Р., канд. техн. наук
Яхно Д.А., аспірант,
Комісаров О.О., аспірант
Національний університет «Запорізька політехніка», kozlova@zntu.edu.ua

ПРО ОСОБЛИВОСТІ КОЛИВАНЬ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Якість виготовлення деталей, що відповідає умовам креслення, починається на технологічній підготовці виробництва. Тому технолог є ключовою фігурою, яка створює сталі технологічні процеси. Через те, що сучасне виробництво постійно удосконалюється, одночасно з цим технологу потрібно поповнювати свої знання новим досвідом. Зокрема це стосується використання сучасних фрезерних верстатів з ЧПУ в авіаційній галузі при обробці складнопрофільних тонкостінних деталей з важкооброблюваних матеріалів. Головним завданням при цьому є створення умов, при яких не буде вібрацій, які порушують сталість кінцевого фрезерування. Щоб його вирішити треба знати, які види коливань діють при кінцевому фрезеруванні тонкостінних деталей, для якого характерною ознакою є короткочасність та робота одним зубом. Нажаль, це обходять дослідники такого виду фрезерування, які вважають, що сталість процесу різання порушують автоколивання. Але вони нагадують, що при врізанні фрези разом з вимушеними коливаннями діють і вільні коливання, які швидко затухають. Для дослідників така властивість вільних коливань є достатньою, щоб далі їх не розглядати. Разом з тим, ці коливання є невід'ємною фізичною частиною вимушених коливань, яка враховується в рівнянні руху деталі [1], що має вигляд:

$$x(t) = Acos(\omega t - \alpha) + A_0 e^{-\beta t}\cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}t + \varphi_0). \quad (1)$$

Перша частина цього рівняння описує вимушені коливання, а друга частина - затухаючі вільні коливання. Щоб відрізняти їх від вільних коливань, які виникають, коли навантаження з деталі знімається, вільні коливання, що виникають при навантаженні силою, називають супроводжуючими вільними коливаннями (СВК) [2]. Обмежений час різання при кінцевому фрезеруванні тонкостінних деталей є достатнім, щоб СВК впливали на сталість процесу різання. Для налаштування автоколивань при кінцевому фрезеруванні тонкостінних деталей цього часу не вистачає. Можна констатувати, що характерними коливаннями при фрезеруванні тонкостінних деталей є вимушені коливання та СВК, які накладаються на них. При навантаженні деталі змушуючою силою супроводжуючі вільні коливання починають виникати з певного значення швидкості різання, від якої залежить їх амплітуда. Для її визначення розглянемо рівняння руху тонкостінної деталі при зростанні сили різання до статичної рівноваги:

$$x(t) = \frac{\beta t}{k} - \frac{\beta}{k\omega_0} sin\omega_0 t, \quad (2)$$

де t – час дії сили різання при її зростанні, с;
k – жорсткість пружного елементу, Н/мм;
ω_0 – частота вільних коливань деталі, рад/с;
β – коефіцієнт, що характеризує темп зростання сили різання за час t, Н/с.

$$\beta = \frac{P}{t}\ , \quad (3)$$

де P – сила різання, Н.

Перший доданок рівняння (2) характеризує статичну дію сили різання, а другий є динамічною поправкою до статичного рішення, з якої визначається амплітуда СВК при врізанні інструменту без врахування тертя.

$$A = \frac{\beta}{k\omega_0}. \quad (4)$$

Сила різання в залежності від статичного відтискання розраховується за формулою:

$$P(t) = kx(t). \quad (5)$$

Для визначення часу зростання сили різання використовується формула

$$t = \frac{S(t)}{v}, \quad (6)$$

де v – швидкість різання, мм/с;

$s(t)$ – шлях, який проходить зуб фрези за час t, мм;

Після перетворення формула (4) буде мати вигляд:

$$A = \frac{x(t)v}{S(t)\omega_0}. \quad (7)$$

Через залежність амплітуди СВК від швидкості різання технологу необхідно знати, по – перше, діапазон швидкостей, де порушується сталість фрезерування, по – друге, які заходи призначати для сталого фрезерування, якщо швидкість різання її руйнує. Для цього використовується визначальне співвідношення (ВС), яке розраховується за формулою [3]:

$$BC = \frac{t_{\text{різ}}}{T_{BK}}, \quad (8)$$

де $t_{\text{різ}}$ – час різання, с;

$T_{\text{ВК}}$ – період вільних коливань деталі, с.

Параметри, за якими розраховується ВС, можуть бути визначені заздалегідь на етапі технологічної підготовки. В залежності від значення ВС [3] весь швидкісний діапазон різання при кінцевому фрезеруванні тонкостінних деталей поділяється на п’ять зон коливань. Для кожної швидкісної зони коливань характерна дія певного виду коливань. В першій зоні при різанні діють тільки вимушені коливання. Це зона сталого фрезерування, але з низькою продуктивністю. Друга зона теж може вважатися сталою, хоча в ній спостерігаються СВК, але з амплітудою до 0,02 мм. Найбільш несприятлива для різання третя швидкісна зона коливань, в якій фрезерування втрачає сталість. В четвертій та п’ятій швидкісних зонах СВК не виникають через малий час різання. В них діють тільки вимушені коливання. Якщо режими різання припадають на продуктивне фрезерування в третій швидкісній зоні, то треба призначати заходи, які гасять СВК за рахунок тертя задньої поверхні інструменту з поверхнею різання.

Список посилань

1. Гаркуша І. П. Фізика. Ч. 4. Коливання і хвилі. [Текст]: Навчальний посібник. / І. П. Гаркуша, В. П. Курінний – Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. – 93 с.

2. Influence of cutting time on types of oscillations during blade processing / Y. Vnukov, S. Dyadya, O. Kozlova, P. Trishyn, A. Zubarev // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. 2023. p. 53–66.

3. Дядя С. І. Систематизація коливань при кінцевому фрезеруванні тонкостінних елементів деталей / С. І. Дядя, Е. Б. Козлова, Е. В. Кондратюк, А. Є. Зубарев, В. А. Кришталь // Вісник двигунобудування. №1, 2016. – С. 68-71.