

УДК 621.9.2

Бойко І.А., інженер
ПАТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя, boyko-ia@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКА ПИТОМОЇ ЖОРСТКОСТІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЧАСТОТ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРСТАТА

В роботах [1] і [2] відзначається, що зміна різального інструменту (РІ) і інструментального оснащення (ІО) в процесі виконання різних переходів під час обробки деталей і вузлів на багатоцільових верстатах (БВ) з ЧПК може супроводжуватись зміною величини окремих частот власних коливань (ЧВК) шпиндельного вузла (ШВ), на яких збурюються коливання цих елементів. Величина зміни залежатиме від типу використовуваного РІ і ІО, їх геометричних параметрів, матеріалу виготовлення, тощо.

Проведення натурних експериментів і математичне моделювання, з метою визначення ЧВК для різних комбінацій РІ і ІО, потребує значних затрат часу на отримання і опрацювання даних.

Оправку і інструмент можна розглядати як жорстко затиснені балки круглого перетину, прогин (деформацію) крайньої точки яких визначатиметься за класичними формулами спротиву матеріалів для балки, із одним затисненим кінцем.

Для спрощення аналізу РІ і ІО і розрахунку ЧВК пропонується застосовувати показник питомої жорсткості (ПЖ) k , що відображає відношення жорсткості досліджуваного об'єкту до його маси і є основним критерієм, що впливає на величину ЧВК:

$$k = \frac{j}{m} = \frac{\frac{3EI}{l^3}}{\rho \frac{\pi d^2 l}{4}} = \frac{12EI}{\rho \pi d^2 l^4} = \frac{12E\pi d^4}{64\rho \pi d^2 l^4} = \frac{12Ed^2}{64\rho l^4} \quad (1)$$

де j – жорсткість моделюємого елемента, Н/м;

E – модуль пружності елемента, Па;

ρ – густина матеріалу елемента, кг/м³;

l – довжина елемента, м;

d – діаметр елемента, м.

Для перевірки можливості застосування питомої жорсткості, як показника для оцінки величини ЧВК РІ і ІО проведено визначення ЧВК методом скінчених елементів для трьох циліндрів, що моделюють ріжучий твердосплавний інструмент: Ø16 мм і Ø6 мм з однаковою довжиною 80 мм, а також Ø4 мм довжиною 40 мм.

Результати розрахунку питомої жорсткості, модуля пружності і густини, а також фізичні властивості моделюємих елементів занесені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Фізичні властивості моделюємих елементів і результати розрахунку питомої жорсткості

Різальний інструмент	Діаметр, м	Довжина, м	Марка матеріалу	Густина кг/м ³	Модуль пружності, ГПа	Питома жорсткість, Н/м·кг
Фреза Ø16	0,016	0,08	H10F	14800	598	4,73E+07
Фреза Ø6	0,006	0,08	H10F	14800	598	6,66E+06
Фреза Ø4	0,004	0,04	H10F	14800	598	4,74E+07

При виконанні модального аналізу на один з торців циліндру накладається обмеження переміщень за трьома осями, що імітує затискання інструменту в оправці, або оправки в ШВ. Для спрощення аналізу визначаються перші п'ять ЧВК.

Як видно з таблиці 1 питома жорсткість фрези Ø16 і фрези Ø4 мм приблизно однакові, отже ЧВК цих фрез також повинні співпадати. Отримані в результаті розрахунку ЧВК фрези Ø16 і фрези Ø4 мм, наведених в таблиці 2, показують, що різниця між першими двома ЧВК двох інструментів складає 1,1%. Натомість наступні три ЧВК суттєво відрізняються між собою і мають набагато вищу частоту.

Таблиця 2 – Результати розрахунку ЧВК моделюємих елементів

Тип інструменту	ЧВК №1, Гц	ЧВК №2, Гц	ЧВК №3, Гц	ЧВК №4, Гц	ЧВК №5, Гц
Фреза Ø16, L=80 мм	2192,5	2192,9	12247	12249	12319
Фреза Ø4, L=40 мм	2218,7	2221,8	13463	13481	25639
Фреза Ø6, L=80 мм	828,79	837,63	5100,2	5152,7	12319

Фреза Ø6 мм має на порядок меншу величину питомої жорсткості ніж у базової моделі, а отже і частоти власних коливань у порівнянні із фрезами Ø16 і Ø4 мм повинні бути меншими, що підтверджується результатами розрахунку ЧВК, занесеними в таблицю 2.

На перших двох ЧВК моделюємих фрез спостерігаються парні згинні коливання переднього кінця моделюємих елементів на близьких за значенням частотах, що обумовлено симетричністю моделі. Для розрахунку величин питомої жорсткості використовувалися формули з опору матеріалів для визначення переміщення переднього кінця балки круглого перетину з одним затисненим кінцем, що фактично відповідає згинним коливання досліджуваних інструментів. Отже застосування показника питомої жорсткості дає змогу співвіднести ЧВК РІ і ІО без їх визначення, але необхідна точність розрахунків досягається лише для згинних коливань пари інструмент-оправка, що спостерігаються на перших двох ЧВК. Враховуючи те, що наступні ЧВК за частотою на порядок вищі за граничну частоту збурення вимушених коливань (933 Гц) від врізання зубів ріжучого інструменту в заготовку в межах робочого діапазону частот обертання розглядаємого в [1] і [2] шпиндельного вузла (частота обертання $n=14000 \text{ хв}^{-1}$) наступні за першими двома ЧВК частоти не розглядаються.

Розрахована величина питомої жорсткості РІ або ІО відповідатиме певній ЧВК, тому визначивши декілька ЧВК для на порядок відрізняючихся за значеннями питомої жорсткості РІ і ІО, з'являється можливість побудувати криву залежності між цими параметрами.

За допомогою графіка залежності ПЖ від ЧВК, через нетрудомісткий автоматизований розрахунок величини ПЖ, визначається орієнтовне значення ЧВК будь-якого РІ або ІО без застосування математичного моделювання. Отриману ЧВК, разом із незмінними ЧВК ШВ (в більшості випадків коливаннями шпинделя), необхідно оминати для запобігання виникнення явища резонанса. Результати такого розрахунку зручно використовувати при призначенні режимів різання, або підборі РІ і ІО на етапі розробки керуючих програм.

Список посилань

1. Бойко, И.А. Разработка математической модели и модальный анализ шпиндельного узла высокоскоростного обрабатывающего центра [Текст] / И. А. Бойко // Вестник Гомельского гос. техн. университета им. П. О. Сухого. – 2016. – №4 (67). – С. 13-21.
2. Бойко, І. А. Залежність зміни частот власних коливань шпиндельного вузла багатоцільового верстата від умов роботи [Текст] : у 4т. Т1. / І. А. Бойко, В. В. Солоха // Тиждень науки: Тези доповідей щоріч. наук.-практ. конф. серед студ., викл., науковців, мол. вчен. і асп. – Запоріжжя : ЗНТУ. – 2017. – С. 206-208.