

УДК 621.914

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.

О.А. Громовий, к.т.н., доц.

М.Л. Білявський, студ.

Житомирський державний технологічний університет

ГІРОСКОПІЧНИЙ ЕФЕКТ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Розглянуті характеристики гіроскопічного ефекту, який виникає при високошвидкісному торцевому фрезеруванні. Розглянуто систему торцева фреза–шпиндельний вузол як вільний гіроскоп. Визначені математичні залежності між кутовою швидкістю прецесійного руху та частотою обертання системи фреза–шпиндельний вузол.

В умовах підприємств машинобудівної галузі України одним з найбільш розповсюджених методів обробки плоских поверхонь є торцеве фрезерування, що дозволяє отримувати точні параметри поверхні та скоротити час фінішної обробки.

Розвиток технологій високошвидкісного фрезерування (HSM – High Speed Milling) відкриває нові можливості в процесі обробки металів та виготовлення деталей, що є найбільш трудомістким процесом у циклі виробництва машин. Тому вдосконалення високошвидкісної обробки деталей є однією з важливих задач. Реальні можливості реалізації високошвидкісного різання в обробці деталей з'явилися зі створенням високооборотних шпинделів головного руху з частотою обертання 10000... 100000 хв⁻¹ та нових конструкцій верстатів.

Аналіз досліджень і публікацій показує, що розробці високошвидкісних процесів обробки присвячено ряд робіт [1–13], в яких обґрунтовується доцільність обробки деталей при високих швидкостях різання та аналізуються особливості процесу обробки. Існують також дані про використання надвисоких швидкостей різання [1].

Одним із факторів, що стримує широке застосування процесів високошвидкісного торцевого фрезерування, є різальний інструмент. В даний час тенденція до створення та використання верстатів для високошвидкісної обробки носить стійкий характер, багато в чому завдяки використанню торцевих монолітних твердосплавних фрез та інструментів, оснащених надтвердими матеріалами.

Разом з тим, використання високошвидкісних методів обробки характеризується зростанням динамічної нестабільності процесу різання, підвищеними вимогами до інструментального забезпечення процесу обробки, необхідності вивчення основних факторів, які впливають на якість обробки.

Так, при високошвидкісній фрезерній обробці виникають процеси гіроскопічних ефектів для високооборотних шпиндельних груп верстатів, які значною мірою впливають на стабільність процесу обробки.

Ціль досліджень

Розглянути основні характеристики гіроскопічного руху при високошвидкісному торцевому фрезеруванні. Розглянути систему торцева фреза–шпиндельний вузол (ФШВ) як вільний гіроскоп та визначити кутові характеристики прецесійного руху. Встановити зони раціональних частот обертання шпиндельних вузлів за критерієм мінімуму вібрацій.

І. Розглянемо систему ФШВ (рис. 1), яка складається із шпинделя 1 верстата, торцевої фрези 2. Якщо до осі симетрії системи ФШВ прикладена діюча сила, то, відповідно до теореми Резаля, зміщення осі ФШВ в напрямку, перпендикулярному до напрямку дії прикладеної сили, призводить до виникнення прецесійного руху [5–8].

Критичне значення кутової швидкості $\omega_{кр}$ обертання системи ФШВ – найменше значення кутової швидкості, при якому спостерігається регулярна прецесія, тобто стабілізація системи ФШВ визначається залежністю [7]:

$$\omega_{кр.} = \frac{2}{R} \sqrt{1 + 4 \frac{l^2}{R^2} gl}, \quad (1)$$

де R – радіус фрези, м; g – прискорення всесвітнього тяжіння, м/с²; l – довжина системи ФШВ, м.

Для розрахункових даних $R = 0,16$ м, $l = 2,5$ м, $g = 9,8$ м/с² значення критичної кутової швидкості для досліджуваної системи ФШВ буде дорівнювати $\omega_{кр} = 1160$ хв⁻¹.

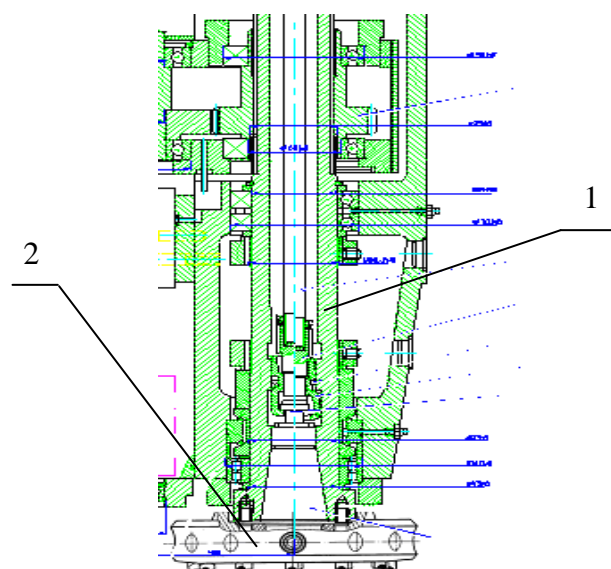


Рис. 1. Система фреза-шпиндельний вузол

Тобто при встановленій кутовій швидкості можна створити регулярну прецесію, регулюючи кут β між віссю OZ та віссю системи ФШВ (рис. 2).

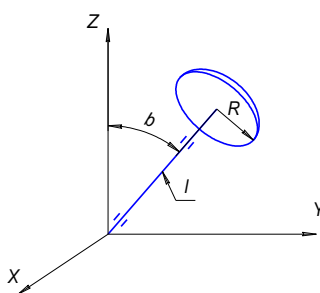


Рис. 2. Система фреза-шпиндельний вузол в системі координат XYZ

Виходячи з умов існування регулярної прецесії, слідує [7]:

$$C^2\omega^2 \geq 4(A-C)Pa \cos \beta, \tag{2}$$

де C та A – відповідно полярний та екваторіальний моменти інерції системи ФШВ відносно її осі симетрії, $\text{кг} \times \text{м} \times \text{с}^2$; ω – частота обертання системи ФШВ, хв^{-1} , P – вага системи, кН ; β – кут між віссю OZ та віссю системи ФШВ, a – відстань від центра тяжіння системи ФШВ (рис. 1) до нерухомої точки фрези.

Визначимо значення кута β :

$$\cos \beta \leq \frac{C^2\omega^2}{4(A-C)Pa}. \tag{3}$$

Полярний та екваторіальний моменти інерції системи ФШВ розраховуються [5–7], [12]:

$$C = \frac{mR^2}{2}; A = \frac{mR^2}{4} + ml^2, \tag{4}$$

де R – радіус фрези, м ; m – маса системи ФШВ, кг ; l – довжина системи ФШВ, м .

Результати розрахунків: $C = 0,6528 \text{ кг} \times \text{м} \times \text{с}^2$; $A = 6,5735 \text{ кг} \times \text{м} \times \text{с}^2$.

Для проведення розрахунків відповідно до залежності (3) прийmemo: $P = 3 \text{ кН}$, $a = 120 \text{ мм}$, $C = 0,6528 \text{ кг} \times \text{м} \times \text{с}^2$, $A = 6,5735 \text{ кг} \times \text{м} \times \text{с}^2$.

Розрахунки кута β в залежності від відповідних частот обертання системи ФШВ виконувалися з початкового значення частоти обертання 1200 хв^{-1} , оскільки $\omega_{\text{кр}} = 1160 \text{ хв}^{-1}$ (табл. 1).

Таблиця 1

Значення кута β в залежності від частоти обертання системи ФШВ

Номер, i	Частота обертання системи ФШВ, хв^{-1}	Кут, β , град	Номер, i	Частота обертання системи ФШВ, хв^{-1}	Кут, β , град
1	1200	85	6	3200	55
2	1500	82	7	3560	46
3	2000	77	8	3800	37
4	2560	69	9	4000	28
5	2800	64	10	4200	14

Отже, для того, щоб існувала регулярна прецесія при ω_i частоті обертання досліджуваної системи, необхідно, щоб виконувалась нерівність $\alpha_i \geq \beta_i$, де α_i – кут існування регулярної прецесії.

Проведені нами розрахунки показали, що після 4200 хв^{-1} система ФШВ починає прецесіювати навколо власної осі симетрії.

Кутова швидкість прецесійного руху $\dot{\alpha}$ може бути визначена залежністю [5–7], [12]:

$$\dot{\alpha} = \frac{mga}{C\omega}, \tag{5}$$

де $\dot{\alpha}$ – кутова швидкість прецесійного руху, хв^{-1} ; P – вага системи ФШВ, кН; a – відстань від центра тяжіння системи ФШВ до нерухої точки фрези, м; C – полярний момент інерції системи ФШВ відносно її осі симетрії, $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; ω – кутова швидкість обертання системи ФШВ, хв^{-1} .

Моменти інерції J_x, J_y, J_z фрези:

$$J_x = J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{1}{3} h^2 + R^2 \right); \quad J_z = \frac{1}{2} m R^2, \tag{6}$$

де m – маса фрези, кг; h – висота фрези, м; R – радіус фрези, м.

Розглянемо торцеву фрезу з наступними параметрами: $m = 25 \text{ кг}$, $R = 0,16 \text{ м}$, $h = 0,044 \text{ м}$. Моменти інерції фрези за залежністю (2) будуть дорівнювати: $J_x = J_y = 0,16 \text{ кг} \times \text{м}^2$, $J_z = 0,32 \text{ кг} \times \text{м}^2$.

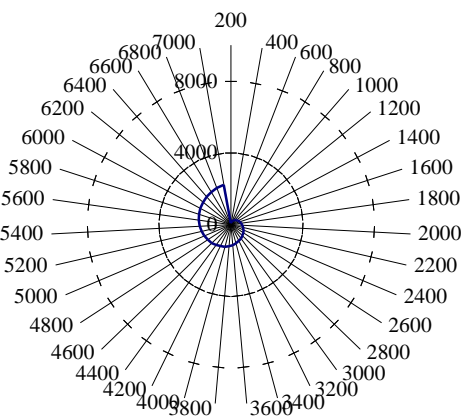
Кінетичний момент системи ФШВ H визначають добутком кутової швидкості ω (рад/с) системи ФШВ на момент інерції J_z відносно осі системи ФШВ:

$$H = J_z \omega. \tag{7}$$

Досліджуваний діапазон частот обертання системи ФШВ: $\omega = 200 \div 7000 \text{ рад/с}$. Залежність кінетичного моменту H ($\text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{рад/с}$) від частоти обертання системи наведена на рис. 3.



(а)



(б)

Рис. 3. Графік залежності кінетичного моменту H системи ФШВ від частоти обертання шпинделя:

а) – в декартових координатах; б) – в циліндричних координатах

Значення гіроскопічного моменту M визначається:

$$M = C\omega\alpha, \quad (8)$$

де C – полярний момент інерції системи ФШВ, $\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$; ω – кутова швидкість обертання системи ФШВ, хв^{-1} ; α – кутова швидкість прецесійного руху системи ФШВ, хв^{-1} [7].

Залежність гіроскопічного моменту від частоти обертання системи ФШВ наведена на рис. 4.

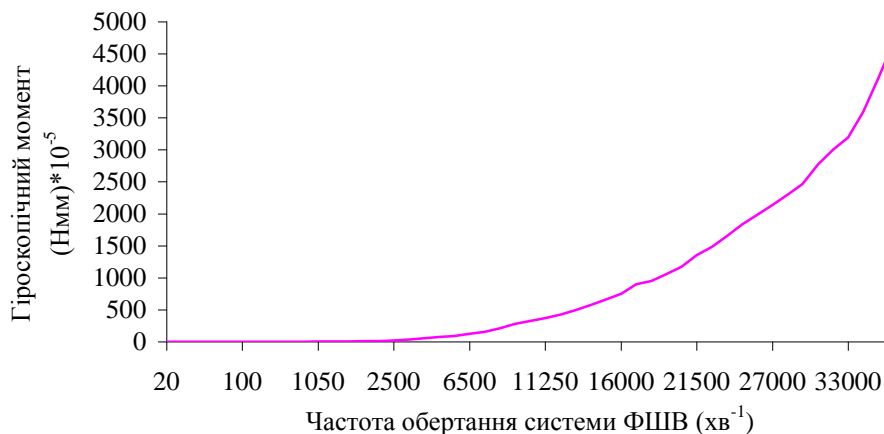


Рис. 4. Графік залежності гіроскопічного моменту від частоти обертання системи ФШВ

На основі графіка залежності гіроскопічного моменту від частоти обертання системи шпинделя встановлено, що гіроскопічний момент в залежності від частоти обертання системи ФШВ найбільш інтенсивно зростає, починаючи із частот обертання системи ФШВ 5000...7250 хв^{-1} .

Висновки

1. Визначені математичні залежності, які характеризують гіроскопічний ефект при високошвидкісному фрезеруванні.
2. Встановлено зростання кінетичного та гіроскопічного моментів при збільшенні частоти обертання системи фреза–шпиндельний вузол.
3. В подальших дослідженнях будуть розглянуті питання впливу гіроскопічних явищ на якість обробки, визначення напрямків вдосконалення шпиндельних вузлів та конструкцій торцевих фрез, оснащених НТМ, для реалізації процесу фінішного високошвидкісного фрезерування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: Підручник / А.І. Грабченко, М.В. Везуб, Ю.М. Внуков, П.П. Мельничук, Г.М. Виговський / За редакцією А.І. Грабченка. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 451 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1974. – 400 с.
3. The Overhang Effect. Peter Zelinski, Executive editor // Modern Machine Shop Online. – <http://www.mmsonline.com/articles/010301.html>
4. Minimizing Vibration Tendencies In Machining. Peter Zelinski, Executive editor // Modern Machine Shop Online. – <http://www.mmsonline.com/articles/030406.html>
5. Кошляков В.Н. Краткий курс теоретической механики. Кинематика. Кинетика: Учеб. – К.: Вища шк., 1993. – 312 с.
6. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: В 2 т. – М.: Наука, 1984. – Т.1. – 352 с.; Т. 2. – 640 с.
7. Ишлинский А.Ю., Борзов В.И., Степаненко Н.П. Лекции по теории гироскопов. – М.: Изд-во при Моск. ун-те, 1983. – 248 с.

8. Громоший О.А. Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Житомир, 2002. – 16 с.
9. Quick and quality machining of the hardened steels with the help Vibra-Free machining center. R.A. Birbraer, S.I. Kozhevnikov, V.V. Stolpovsky // Publishing House «ГТЕ». – http://www.ito-baza.ru/eng/archive/2002/0103_en.html
10. Manufacturing Laboratories, Inc (Gainesville, Florida). – <http://www.mfg-labs.com/>
11. Кошляков В.Н. Задачи динамики твердого тела и прикладной теории гироскопов. Аналитические методы. – М.: Наука, 1985. – 288 с.
12. High Speed Spindle Design and Construction. Peter Zelinski, Executive editor // Modern Machine Shop Online. – <http://www.mmsonline.com/articles/hsm9802.html>

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з організаційно-навчальної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем, заступник декана факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

БІЛЯВСЬКИЙ Максим Леонідович – студент факультету інженерної механіки спеціальності «Технологія машинобудування» Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням.

Подано 15.10.2004

Виговський Г.М., Громовий О.А., Ковальов В.В. Розробка та випробування працездатності нових конструкцій кільцевих свердел для обробки чавунних деталей

Выговский Г.Н., Громовой А.А., Ковалев В.В. Разработка и исследование работоспособности новых конструкций кольцевых сверл для обработки чугунных деталей

Vygovskyy G.M., Gromovyy O.A., Kovalyov V.V. Developing and researching of working ability of new constructions of drills for machining of cast-iron parts

УДК 621.914

Розробка та випробування працездатності нових конструкцій кільцевих свердел для обробки чавунних деталей / Виговський Г.М., Громовий О.А., Ковальов В.В.

Розроблені нові конструкції кільцевих свердел для обробки чавунних деталей. Наведені результати випробувань декількох конструкцій кільцевих свердел з точки зору технологічності виготовлення, зручності в експлуатації і продуктивності роботи

УДК 621.914

Разработка и исследование работоспособности новых конструкций кольцевых сверл для обработки чугунных деталей / Выговский Г.Н., Громовой А.А., Ковальов В.В.

Разработаны новые конструкции кольцевых сверл для обработки чугунных деталей. Приведены результаты исследований нескольких конструкций кольцевых сверл с точки зрения технологичности изготовления, удобства в эксплуатации и продуктивности работы

УДК 621.914

Developing and researching of working ability of new constructions of drills for machining of cast-iron parts / Vygovskyy G.M., Gromovyy O.A., Kovalyov V.V.

The new constructions of ring drills for machining of cast-iron parts are designed. The results of researches of several ring drills designs from the point of view of adaptability of manufacturing, convenience in operation and efficiency of work are given