

УДК 621.924.046

В.Ю.Денисюк, В.Т.Михалевич

Луцький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОБЕРТАЛЬНОЇ СИЛИ ФРИКЦІЙНОГО МАГНІТНОГО ПРИВОДУ ДЛЯ БЕЗЦЕНТРОВОГО ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ

В статті приведено результати експериментального визначення обертової сили фрикційного магнітного приводу для безцентрового внутрішнього шліфування, що дозволяє ще на етапі проектування задавати оптимальні значення цих сил та гарантувати експлуатаційну надійність приводів.

Ключові слова: внутрішнє шліфування, підшипник, шліфувальний круг, жорстка опора, безцентрове шліфування.

Метод безцентрового шліфування на жорстких опорах є досить ефективним і застосовується для шліфування отворів та доріжок кочення кілець роликових підшипників кочення. Цей метод дозволяє з високою продуктивністю здійснювати стабільне шліфування з заданою точністю.

На практиці використовується три методи шліфування на жорстких опорах:

- шліфування внутрішньої поверхні з установкою жорстких опор по зовнішній поверхні деталі – метод центриматік;
- шліфування зовнішньої поверхні з установкою жорстких опор на тій же зовнішній поверхні – метод мікроцентрик;
- шліфування зовнішньої поверхні з установкою жорстких опор на внутрішній поверхні – метод концентрик.

Притискання виробу до жорстких опор (рис. 1) за відсутності сили різання забезпечується зміщенням осі обертання виробу O_v відносно осі обертання торцевої опори O_r . Це зміщення повинне бути таким, щоб напрям дії обертової сили P_r знаходився в межах $\theta = 6 - 80^\circ$, де θ – кут, який визначається відносним зміщенням центрів обертання виробу й фрикційного приводу

$$\theta = \arctg \frac{e_r}{e_a} . \quad (1)$$

У цьому випадку умовою надійного контакту виробу з жорсткими упорами буде наявність сил реакції горизонтальної R_r та вертикальної R_v опор з дотриманням обов'язкових нерівностей

$$R_a > 0, \quad R_b > 0. \quad (2)$$

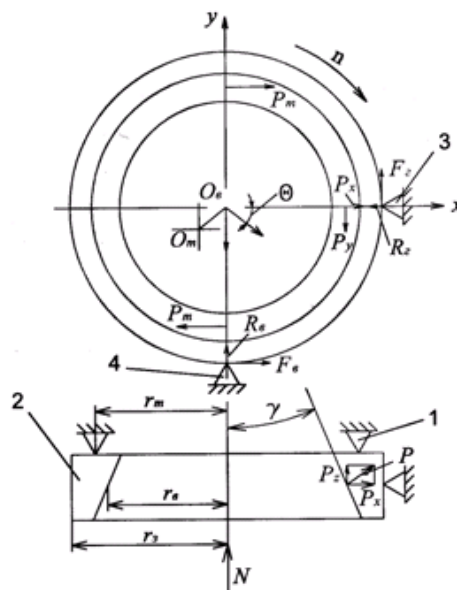


Рис. 1. Схема силової взаємодії виробу 2 з фрикційним приводом 1, жорсткими опорами 3, 4 та шліфувальним кругом

У процесі шліфування до вказаної системи сил прикладені складові сили різання P_y та P_z , які сприяють покращенню умови стійкого контакту виробу з опорами [3]. Але взаємодія всіх сил системи може привести до пригальмовування обертання виробу і навіть, до повної його зупинки. Відповідно, під час шліфування ознакою стійкості буде, на відміну від ознаки (2), обов'язкове збереження постійності заданої кутової швидкості виробу в межах

$$n_a = n_o \left(1 \pm \frac{e}{r_o} \right) \quad (3)$$

де n_o і n_t – частота обертання виробу і торцевої опори фрикційного приводу; e/r_t – відносна кутова швидкість проковзування (приймається зі знаком “–”, якщо фрикційний привід є ведучою ланкою).

Умова стійкого обертання виробу зумовлюється рівновагою моментів сил відносно осі обертання виробу

$$P_m r_m - r_\zeta (F_a + F_b) + P_z r_a = 0, \quad (4)$$

де P_t – обертальна сила, тобто сила тертя між торцями фрикційного привода й виробу; r_m – середній радіус торцевої опори; r_ζ і r_b – середній радіус зовнішньої та внутрішньої поверхонь, які контактують відповідно з жорсткими опорами й шліфувальним кругом; F_t і F_b – сили тертя між горизонтальними й вертикальними опорами та виробом; P_z – тангенційна складова сили різання.

Якщо проекції всіх сил, які діють на виріб, рівні нулю і за умови, що $F_t = f(R_t)$ та $F_b = f(R_b)$, то розв'язок рівняння (4) відносно P_t приведе до наступного відношення:

$$P_m = \frac{(f+1) \left[f(k + \cos \gamma) + \frac{G}{P_y} \right] - k \frac{r_a}{r_\zeta} (1 + f^2)}{\frac{r_o}{r_\zeta} (1 + f^2) + [(f-1) \sin \theta - (f+1) \cos \theta]} P_y, \quad (5)$$

де f – коефіцієнт тертя в спряженні “виріб – жорсткі опори”; k – відношення тангенційної P_z складової сили різання до радіальної P_y ; γ – половина кута конуса оброблюваної поверхні; G – маса виробу.

Аналіз формул (4) і (5) показує, що якщо $R_z < (F_a + F_b)$ і $f < k$, то обертальна сила P_t має додатній знак і, відповідно, ведучою ланкою буде фрикційний привід; якщо $R_z > (F_a + F_b)$ і $f \ll k$, то обертальна сила має від'ємний знак і ведучою ланкою буде шліфувальний круг.

На рис. 2 подані діаграми частоти обертання торцевої опори n_t та виробу n_b під час шліфування доріжки кочення зовнішнього кільця підшипника 7510 на безцентровому внутрішньошліфувальному автоматі SIW-3B протягом всього циклу оброблення за фіксованих значень обертальної сили.

Із діаграми видно, що за $P_t = 14,7$ Н обертання виробу є нестійким на чорновій швидкості подачі. Для $P_t = 29,5$ Н і $P_t = 44,0$ Н зі зростанням складових сил різання P_y і P_z спостерігається деяке збільшення частоти обертання привода і виробу із-за “розкручування” виробу шліфувальним кругом. У цьому випадку ведучою ланкою в системі “привод – виріб” є виріб, а швидкість обертання фрикційного привода менша, чим виробу, на величину відносного проковзування.

На етапах виходжування, правки круга і чистового шліфування швидкості фрикційних пар відповідають заданій електроприводом швидкості, а відношення швидкостей – випадку, коли ведучою ланкою є фрикційний магнітний привід.

Аналіз формули (5) показує, що вихідними параметрами для розрахунку необхідної обертової сили служать P_y , P_z , f . Фактичні величини складових сил різання залежать від багатьох чинників, врахування яких для визначення цих сил відомими розрахунковими залежностями не забезпечує необхідної точності, особливо для шліфування в автоматичному короткочасному режимі. Коефіцієнт тертя також суттєво залежить від фрикційних властивостей матеріалів, використовуваної змащувально-охолоджуючої рідини, складових сил різання та їх розподілу.

У зв'язку з цим було проведено експериментальну перевірку впливу вказаних чинників на необхідну обертову силу P_t .

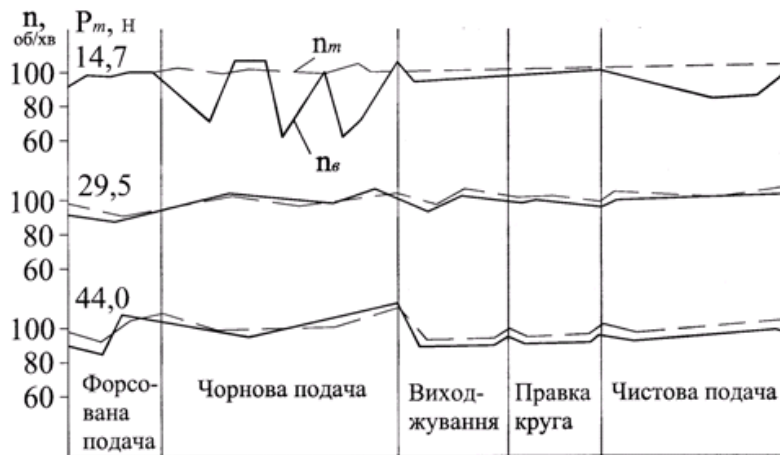


Рис. 2. Діаграми частоти обертання виробу і фрикційного приводу за різних значень обертової сили

Експеримент полягав у тому [2], що під дією фактично встановлених $P_{т.ф}=39,2$ Н і $P_{т.ф}=19,6$ Н була прошліфована партія внутрішніх кілець підшипників за різних значень складових сил різання, які отримували шляхом зміни швидкості чорнової подачі. Одночасно відслідковувалась частота обертання фрикційного приводу і виробу. На основі побудованих діаграм частоти обертання деталі проводився аналіз постійності обертання виробу. Шліфування виконувалось на режимах: швидкість обертання шліфувального круга – 51 – 56 м/с; частота обертання виробу – 365 об/хв.; швидкості чорнових подач – 1,2; 0,8; 0,8 мм/хв.: припуск на оброблення – 0,4 – 0,6 мм на діаметр; змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР) – водяний розчин триетаноламіну та нітриту натрію; шліфувальний круг – 25А 16-Н СМ2 7К1А. Верстат – SIW-3В, виріб – внутрішнє кільце підшипника 7212.

Для визначення коефіцієнта тертя вимірювались сили тертя між виробом, в якості якого використовувалось внутрішнє кільце підшипника зі сталі ШХ15, та жорсткими опорами з напаяними твердосплавними наконечниками ВК8. Результати вимірювань та розрахунків подано у вигляді графіка залежності коефіцієнта тертя f від нормальної сили P_y з поливанням опори ЗОР [1], яка використовується в процесі шліфування. Для отримання розрахункових значень необхідної сили обертання для кожної партії кілець застосовували екстремальне значення складових сил різання, для яких обертання виробу було нестійким, тобто порушувалась умова (2). Результати вимірювання й розрахунків приведені в таблиці 1.

Порівняння розрахункових значень необхідної обертової сили P_t і фактично встановлених $P_{т.ф}$ показує, що за відповідності фактичного значення обертової сили фрикційного магнітного приводу необхідному за розрахунковими даними, спостерігається найбільш стійке обертання. Якщо фактично встановлена сила складає 70% і менше від необхідної за розрахунком, то відбувається різке зменшення частоти обертання виробу, і навіть, повна його зупинка.

Таблиця 1

Результати експериментальних вимірювань

Швидкість чорнової подачі, мм/хв	Виміряні і розраховані параметри							
	P_y	P_z	k	f	P_t	f	$\frac{P_{m.д}}{P_m}$	$\frac{n_m - n_{д}}{n_m}, \%$
	Н				Н			
1,2	343	91,0	0,27	0,32	68,5	39,2	0,57	11
0,8	230	49,0	0,21	0,26	38,0	39,2	1,03	2
0,8	186	24,0	0,13	0,24	35,5	19,6	0,55	100
0,4	196	39,0	0,20	0,24	28,4	19,6	0,7	16

Розрахунок необхідної сили P_t для коефіцієнтів тертя $f = 0,2 - 0,35$ та відношень $P_z/P_y = 0,15 - 0,30$ показує, що для оперативної оцінки необхідного рівня обертової сили фрикційного приводу можна скористатися відношенням

$$P_m = k_k P_y, \quad (5)$$

де k_k – комплексний коефіцієнт, який враховує найбільш ймовірне поєднання можливих значень.

Для методів і умов оброблення отворів на безцентрових внутрішліфувальних автоматах значення комплексного коефіцієнта лежить в межах 0,10 – 0,25, а найбільш близьке до практичного використання знаходиться в межах 0,15 – 0,20.

Основний елемент фрикційного приводу – електромагнітна котушка. Робоча поверхня армується твёрдосплавними елементами, встановленими в проміжках магнітопровідного матеріалу. Під час роботи між робочою поверхнею приводу і базовим торцем виробу утворюється проміжок 5 – 10 мкм. В процесі експлуатації, внаслідок проковзування торця виробу, цей проміжок збільшується і може досягти 0,2 мм. Зі збільшенням проміжку, фактична обертова сила зменшується і через деякий час стає недостатньою для забезпечення стійкого обертання виробу. Експериментальні криві спаду обертової сили $P_{т.ф}$ в залежності від проміжку Δ для різних рівнів струму намагнічування i , подані на рис. 3. На графіку (рис. 3) $P_{т.ф}$ і Δ подані у відносних долях від номінального значення.

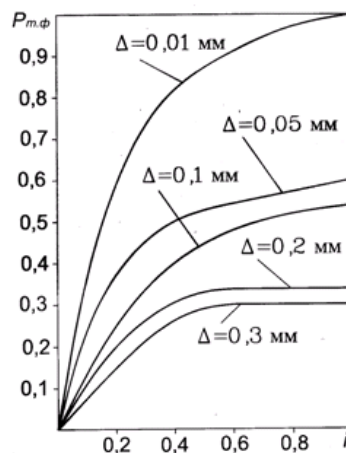


Рис. 3. Залежність фактичної обертової сили від струму намагнічування для різних проміжків між торцевою і базовою поверхнями

Аналіз цих залежностей показує, що для $\Delta = 0,2$ мм сила $P_{т.ф}$ зменшується на 65%. Для найбільш ефективної експлуатації за критеріями мінімального тепловиділення та високої надійності фрикційного магнітного приводу, струм намагнічування доцільно встановлювати не більше 60% від номінального значення.

Таким чином, для забезпечення стійкого обертання виробу протягом тривалого періоду експлуатації необхідно, щоб номінальна обертова сила $P_{т.ном}$ перевищувала максимальну за умовами експлуатації $P_{т.ф}$ приблизно в 3 рази, тобто

$$P_{m.т.т.} \approx 3P_{\phi.\phi} \approx 3\phi_{\phi} . \quad (6)$$

У випадку використання у якості характеристики фрикційного приводу осьової сили притиску N деталі до магнітного приводу, необхідно знати значення коефіцієнта тертя між контактними поверхнями торця приводу і виробу f_0 , тоді обчислення N для заданої P_t виконується за відомою залежністю.

Отже, результати дослідження дозволяють визначити розрахунковим методом необхідну обертову силу фрикційного магнітного приводу ще на етапі проектування та задавати оптимальні значення цих сил, які б гарантували експлуатаційну надійність приводів.

1. Гришин Б.В. Надежность базирования изделия на бесцентровых внутришлифовальных автоматах. "Станки и инструмент", №7, 1974.
2. Гришин Б.В. Определение вращающей силы фрикционного магнитного привода при бесцентровом внутреннем шлифовании. "Труды института", №4 (106). М., Специнформцентр ВНИИПА, 1980.
3. Марчук В.І., Денисюк В.Ю. Особливості процесів формоутворення поверхонь обертання на операції безцентрального шліфування // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наукових праць. – Вип. 1. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – С. 157-167.