

**Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.
А.А. Субін, аспір.**

Національний технічний університет України "КПІ"

УРАХУВАННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТОС ПРИ ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ШЛІФУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ГВИНТОВИХ КАНАВОК

Анотація

Операція шліфування внутрішніх гвинтових канавок є фінішною операцією технологічного процесу виготовлення гвинтових пар кочення і виконується на спеціальних верстатах (наприклад, мод. МВ-8), що, внаслідок конструктивних обмежень, характеризуються низькою жорсткістю технологічної системи. Процес шліфування (як будь-який процес різання) відбувається в замкненій пружній ТОС, зворотний зв'язок якої проявляється в тому, що сила різання, яка викликає пружні деформації, залежить від глибини різання, яка, в свою чергу, залежить від пружних деформацій. Крім того, процес шліфування є багато-прохідним, що призводить до послідовного накопичення пружних деформацій, а саме: пружні деформації на будь-якому проході проявляються як збільшення поперечної подачі на наступному проході. Всі ці явища мають великий вплив на процес формування профілю гвинтової канавки фасонним шліфувальним кругом і тому повинні враховуватись при визначенні оптимального закону управління процесом шліфування, особливо в напрямку поперечної подачі.

Враховуючи складність та багатофакторність процесу, що досліджується, було прийняте рішення про створення імітаційної моделі та виконання експериментальних досліджень на цій моделі за допомогою ЕОМ з метою вирішення задачі оптимального управління.

При шліфуванні під час взаємодії ріжучого інструмента з поверхнею обробки виникає сумарна сила різання P_{Σ} , яка може бути представлена складовими проекціями на осі координат: нормальною P_Z , тангенціальною P_Y і осьовою P_X (рис. 1).

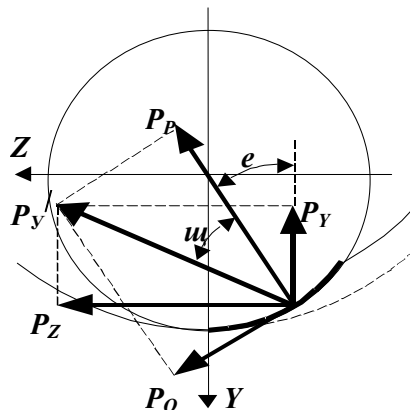


Рис. 1. Визначення складових сили різання

Внаслідок врізного профільно-симетричного шліфування канавок наявністю складової P_X можна ігнорувати за умови компенсації з обох сторін шліфувального круга і підналадки системи після кожного проходу для усунення похибки кроку. Визначення значень складових можна проводити шляхом знаходження сили P_{Σ} (рис. 1). Її складовими є радіальна P_P і осьова P_O сили.

Розрахунок осьової складової проводиться за співвідношенням [1]:

$$P_O = C_P \cdot (Q \cdot S_O)^\alpha \cdot B,$$

де C_P , α – емпіричні коефіцієнт та показник ступеня;

Q – аналог інтенсивності зняття припуску;

S_O – величина контурної подачі;

B – ширина шліфування.

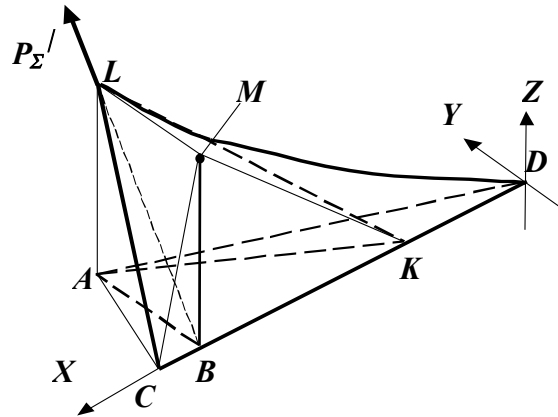


Рис. 2. Схема прогину шпинделя під дією сил різання при шліфуванні

Радіальна складова знаходиться шляхом множення осьової складової на коефіцієнт $n = 2,5$:

$$P_p = n \cdot P_o.$$

Під час зняття припуску під дією цих сил відбувається прогин шпинделя шліфувального круга (рис. 3). Величини деформацій осі шпинделя BD та кутів нахилу дотичних до координатних осей OY та OZ розраховуються за формулами [2]:

$$AB = v = \frac{P_y \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J};$$

$$MB = AL = w = \frac{P_z \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J};$$

$$\angle LKC = \angle \varphi = \frac{P_o \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J};$$

$$\angle AKB = \angle \alpha = \frac{P_y \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J};$$

$$\angle MKB = \angle \mu = \frac{P_z \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J};$$

де l – довжина шпинделя;

E – модуль пружності матеріалу шпинделя;

J – усереднений момент інерції шпинделя.

Величину зміщення шліфувального круга під дією виникаючих сил вздовж осі OX – відрізок BC , знаходимо, використовуючи деякі допущення. Враховуючи мале значення переміщення v , а також відносно велику жорсткість стержня шпинделя, допускаємо рівність:

$$LD = AD.$$

Звідси знаходимо зміщення (рис. 2):

$$BC = m = l - \sqrt{l^2 - v^2}.$$

При розробці комп'ютерної імітаційної моделі процесу внутрішнього шліфування, внаслідок неможливості представлення взаємодії інструмента і деталі аналітичним методом, був обраний чисельний метод представлення поверхонь [3]. Узагальнена блок-схема програми представлена на рис. 3.

Після визначення початкового положення інструмента і деталі проводиться обчислення нових положень інструментальної поверхні у відповідності з поперечною подачею на прохід та поверхні деталі, що формуються в результаті обробки за умови абсолютної жорсткості системи (блок 1). На основі отриманих дискретних масивів представлення інструментальної поверхні та поверхні деталі визначаються значення аналога швидкості зняття припуску Q , проєкцій P_y, P_z сили різання та величин переміщень v і w шліфувального круга (блок 2). Реальна замкненість пружної технологічної системи, де відбувається процес різання, ураховується за допомогою ітераційного процесу, який дозволяє шляхом поступового наближення визначити вихідні параметри процесу, що встановився.

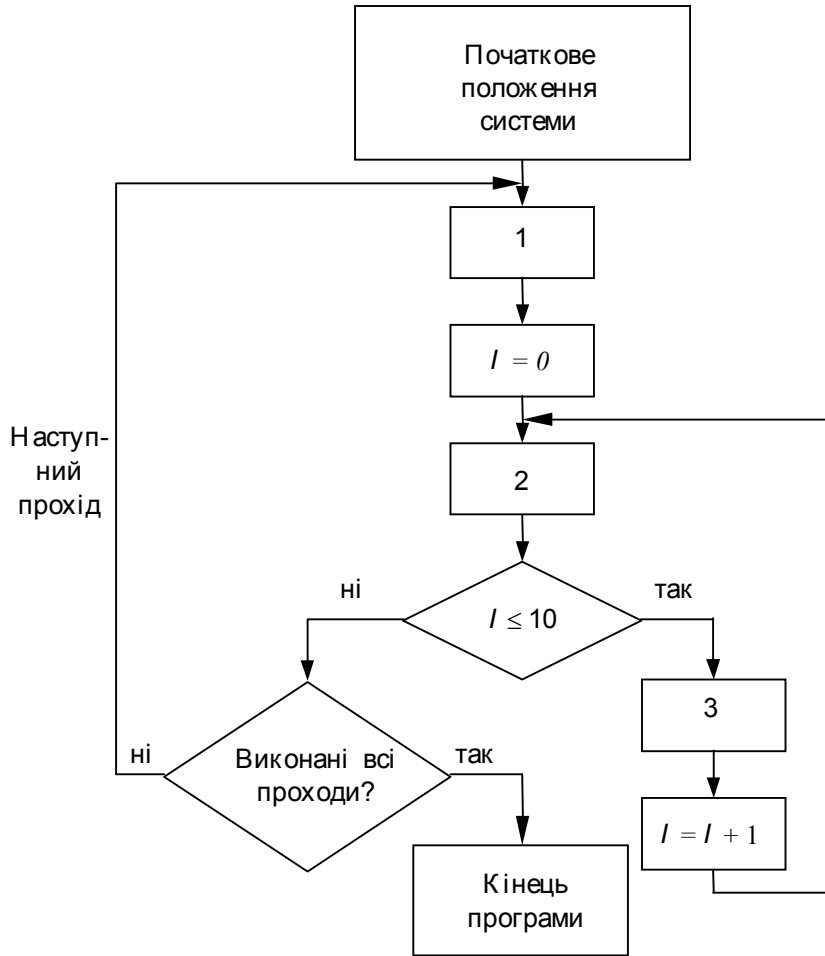


Рис. 3. Спрощена блок-схема комп'ютерної моделі імітації процесу внутрішнього шліфування

Суть ітераційного процесу полягає в наступному. Після перерахунку дискретного геометричного масиву, що відображає положення ріжучої поверхні інструмента з урахуванням пружних деформацій (блок 3), програма повертається і знов розраховує нові показники процесу різання, які характеризують силу різання, потім нові значення деформації і знов уточнює положення ріжучої поверхні інструмента і поверхні деталі. Таким чином, ітераційний процес імітує той зворотний зв'язок, що існує в реальній системі.

Збільшення кількості ітерацій приводить до підвищення точності моделювання, але значно затримує обчислювальний процес на ЕОМ. Тому перед виконанням імітаційного моделювання треба визначити прийнятне значення кількості ітерацій.

На базі приведеного алгоритму за допомогою програмного середовища *Visual Basic* була розроблена програма для ПК. Вихідні дані розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розміри деталі		Розміри інструмента	
Максимальний радіус	23,00 мм	Максимальний радіус	19,25 мм
Мінімальний радіус	20,90 мм	Радіус скруглення	3,27 мм
Радіус канавки	3,27 мм	Боковий радіус	15,98 мм
Припуск	0,25 мм	Ширина	6,00 мм
Параметри ТОС		Силкові параметри	
Модуль E шпинделя	$2 \cdot 10^5$ Мпа	Коефіцієнт C_p	3,80
Діаметр шпинделя	18,00 мм	Коефіцієнт α	0,54
Довжина шпинделя	140,0 мм	Коефіцієнт радіальної сили	2,50

Моделювання проводилось при постійному значенні поперечної подачі 0.03 мм за один прохід, частота обертання заготовки 3 об/хв.

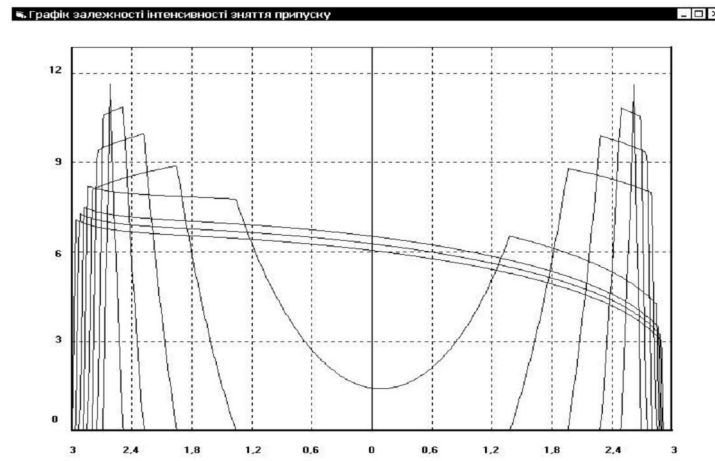


Рис. 6. График аналога интенсивности зняття припуску при зниженій жорсткості ТОС

Розроблена імітаційна модель дозволяє визначити не тільки якісний характер, а й кількісні параметри обробки в залежності від заданих початкових даних. Причому врахування пружних деформацій дозволяє зробити це з достатньою для попереднього аналізу точністю внаслідок їх вирішального впливу на характер обробленої поверхні деталі. При цьому за допомогою визначеного алгоритму можна регулювати вплив окремих параметрів ТОС з метою зменшення впливу всієї системи на кінцевий результат.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 380 с.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев .В. – К.: Наукова думка, 1988. – 736 с.
3. *Петраков Ю.В., Субін А.А.* Математична модель шліфування внутрішньої гвинтової канавки пари кочення // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ» / Машиностроение. – 1999. – № 37. – С. 63–68.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:
– обробка складних поверхонь.

Субін Анатолій Анатолійович – аспірант Національного технічного університету “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:
– обробка складних поверхонь.

Подано 21.10.1999.

Петраков Ю.В., Субін А.А. Урахування пружних деформацій ТОС при імітаційному моделюванні шліфування внутрішніх гвинтових канавок

Петраков Ю.В., Субін А.А. Учет пружных деформаций ТОС при имитационном моделировании шлифования внутренних винтовых канавок