

Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.
А.А. Субін, асист.

Національний технічний університет України "КПІ"

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО АЛГОРИТМУ ПРИ ШЛІФУВАННІ ВНУТРІШНІХ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ

Для задоволення жорстких вимог за якістю та забезпечення високої продуктивності на заключних технологічних операціях шліфування потрібно проводити безперервне управління даним процесом, яке виконується на фазовій площині припуск – фактична швидкість зняття припуску. Оптимальним законом управління є такий, що визначає фазову траєкторію, яка найближче розташована до границь, які, в свою чергу, обмежують фазову площину. В статті запропоновано новий підхід для визначення граничного закону управління для процесів внутрішнього профільного шліфування, який може бути використаний при будь-якому профілю деталі. Створене за допомогою даної методики програмне забезпечення дозволило визначити граничний закон управління для процесу шліфування внутрішньої гвинтової профільної канавки гайки пари кочення.

Процес шліфування, як правило, є заключною технологічною операцією, що формує геометричні та фізико-механічні властивості поверхневого шару деталі. Тому до кінцевих результатів операції шліфування завжди пред'являють жорсткі вимоги як за якістю, так і за продуктивністю. Задовольнити цим вимогам можливо за допомогою безперервного управління циклом шліфування, яке виконується на фазовій площині припуск – фактична швидкість зняття припуску. Таким чином, оптимальним законом управління буде такий, що визначає фазову траєкторію, яка найближче розташована до границь, які, в свою чергу, обмежують фазову площину. Отже, однією з головних задач оптимального управління є визначення граничного алгоритму управління.

Такі алгоритми визначення граничних умов обробки розроблені для круглого врізного шліфування прямого профілю [1, 2]. Причому величиною, що регулюється, виступає фактична швидкість переміщення шліфувального круга на врізання dH_{ϕ}/dt , а граничні величини швидкості визначаються фактичним значенням припуску, що знімається (рис. 1).

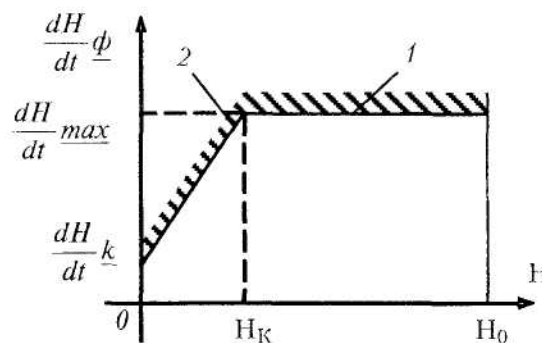


Рис. 1. Граничний алгоритм для кругового шліфування прямого профілю

Крім того, фактичні величини, що беруть участь у формуванні шару, який зрізається, приймаються рівними заданому переміщенню шліфувальної бабки і заданій подачі.

Максимальний припуск для одного проходу визначається за двома умовами.

Обмеження за максимально допустимими деформаціями технологічної оброблюваної системи Δ_{max} зумовлює верхню границю (ліні. 1, рис. 1) області управління. В кінці ж обробки на перше місце виступає якість поверхні деталі. Виходячи з умови безприпального шліфування, визначається величина подачі (ліні. 2, рис. 1) [2]:

$$h = a_1 \frac{dH}{dt} - a_2, \quad (1)$$

де a_1 і a_2 – емпіричні коефіцієнти.

Таким чином визначається область управління для всього циклу обробки круглого врізного шліфування. Цей підхід, що в цілому є прийнятний для процесів шліфування, не може бути безпосередньо застосованим для шліфування внутрішніх гвинтових поверхонь, яке має суттєві особливості.

Перш за все треба відмітити суттєву нерівномірність припуску, що знімається по профілю гвинтової канавки від проходу до проходу. Так, проведена імітація шліфування канавки гайки кочення при знятті шліфувальним кругом припуску 0,545 мм за 8 проходів з рівномірною поперечною подачею на прохід дала такий графік розподілу припуску (рис. 2).

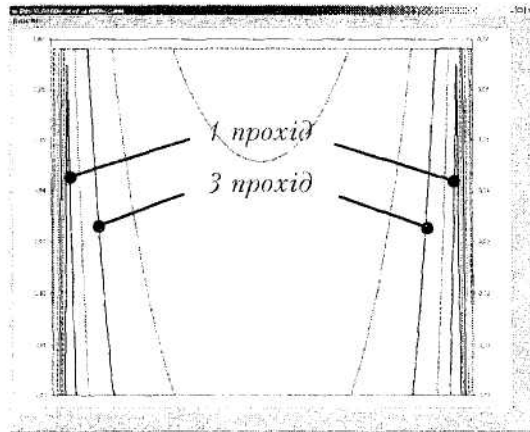


Рис. 2. Розподіл припуску по проходах для профільного шліфування

Виділені лінії для першого та третього проходів наочно ілюструють як розбіжності в характеристиці припуску, що знімається, так і його нерівномірність.

Отже, при профільному шліфуванні немає пропорційної залежності між глибиною припуску та швидкістю зняття припуску. За управляючу координату при цьому вибирається переміщення шліфувальної бабки верстата, тобто координату, якою можна управляти.

Іншою особливістю процесу шліфування внутрішніх гвинтових поверхонь, яка ігнорується у відомих алгоритмах, є верхня границя, що залежить від жорсткості ТОС. При шліфуванні прямих профілів складова P_y сили різання направлена перпендикулярно до поверхні, тобто напрямком, протилежний до поперечної подачі на врізання. Для представленого профільного шліфування напрямком діючих складових P_{o1} і P_{o2} не буде паралельним до напрямку подачі. Тому треба враховувати результуючу силу $P_{рез}$, яка буде направлена за віссю симетрії профілю (рис. 3). Оскільки на різних проходах буде зніматись різна кількість матеріалу (рис. 2), відповідно будуть змінюватись як величини складових сил P_{o1} і P_{o2} , так і їх напрям.

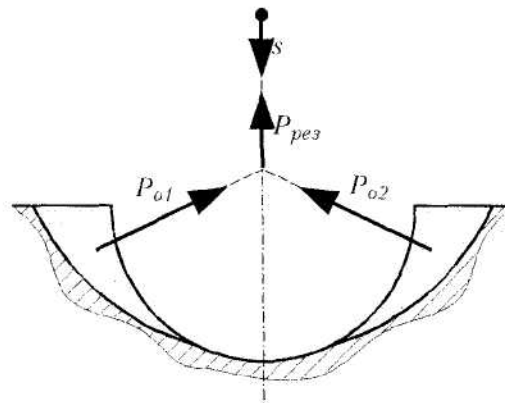


Рис. 3. Схема дії сил різання при профільному шліфуванні

Таким чином, для визначення цієї границі алгоритму управління пропонується такий підхід. Визначаємо максимально допустиму силу, що діє на шліфувальний круг:

$$P_{oMAX} = c \cdot \Delta_{MAX} \quad (2)$$

де c – приведена жорсткість ТОС; Δ_{max} – максимально допустимий прогин шпинделя верстата. З іншого боку, складова сила різання визначається параметрами процесу шліфування [4]:

$$P_o = C_p \cdot (q \cdot S_o)^\alpha \cdot B \quad (3)$$

де C_p , α – емпіричні коефіцієнт та показник степеня; q – аналог швидкості зняття матеріалу; S_o – величина контурної подачі; B – ширина шліфування.

Відповідно необхідно визначити такі умови обробки канавки, щоб деформації ТОС були максимально наближені до граничних. Тобто треба визначити для кожного заданого положення шліфувального круга максимально можливу величину подачі, за якої кількість матеріалу, що знімається Q , а отже і сила різання не будуть перевищувати критичну, тобто $P_o < P_{oMAX}$. Тому абсцисою фазового простору управління повинно бути не переміщення шліфувальної бабки, а фактичне значення положення периферійної формотворної поверхні шліфувального круга.

Для визначення обмеження алгоритму за якістю обробки (безприпальне шліфування) відома залежність (1) теж не може бути застосована безпосередньо. Криволінійність профілю канавки вимагає внесення поправок в її застосування. Так, перш за все, різні перетини мають різні величини як геометричних (радіуси обробки, товщина переміщення на прохід h_i), так і технологічних параметрів (сили різання, наприклад). Характер же розподілу тепла регламентує використання в якості величини товщини шару не величини поперечних переміщень за прохід (h_1 і h_2 на рис. 4), а найкоротші відстані від джерела тепла до поверхні деталі ($h_{1к}$ і $h_{2к}$ на рис. 4), які для кожного перетину будуть різними. Процес профільного шліфування може бути представлений у вигляді сукупності процесів круглого врізного шліфування з прямим профілем, шириною обробки Δx та величиною припуску h_i (за умови $\Delta x \rightarrow 0$).

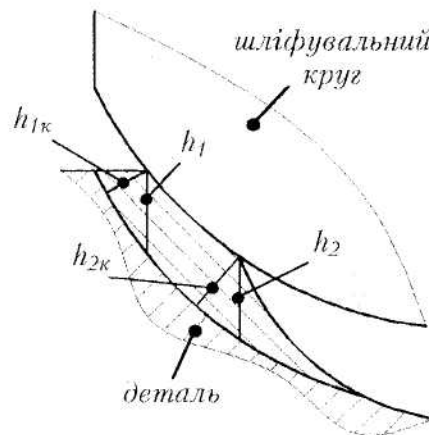


Рис. 4. Елементарна ділянка припуску

Тому з урахуванням вищезгаданих особливостей для кожного перетину залежність (1) прийме вигляд:

$$Q_i = \frac{a_2 + h_{ik}}{a_1} \quad (4)$$

Хоча ця залежність і не відображає весь характер розподілу температурного шару в зоні обробки, але дозволяє з запасом визначити границю безприпального шліфування для умов профільного шліфування. Таким чином, з залежності (4) випливає, що граничний алгоритм залежить від конкретних умов обробки.

Отже, розроблена методика вимагає створення програмного забезпечення, що дозволить використати її для будь-яких випадків профільного внутрішнього шліфування. В основу програми покладена математична модель процесу [5]. Вихідні дані задаються в інтерактивному режимі (рис. 5).

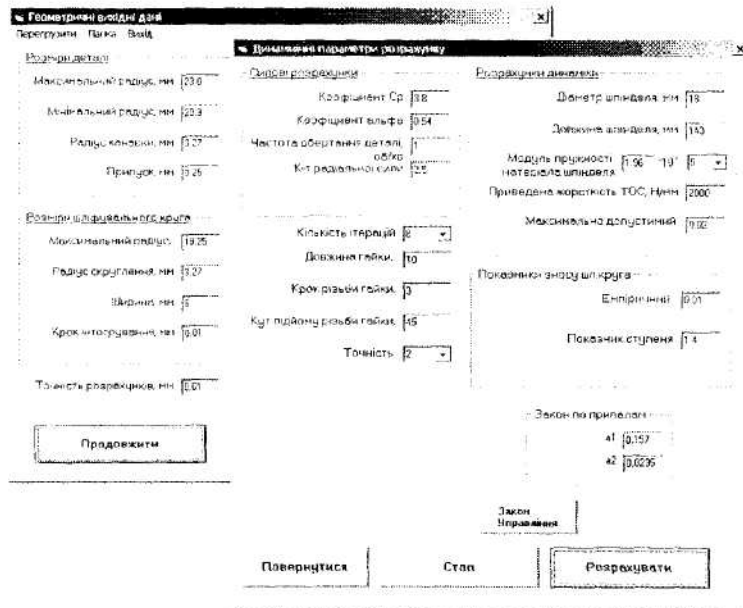


Рис. 5. Інтерфейс введення вхідних даних

При використанні розробленого програмного забезпечення для операції шліфування внутрішніх гвинтових канавок отримано наступні результати. Застосування традиційного підходу визначення граничного закону без урахування особливостей профільної обробки внутрішніх канавок дає дві границі відповідно за жорсткістю ТОС та припалами поверхневого шару (ліні 1 і 2 на рис. 6, а).

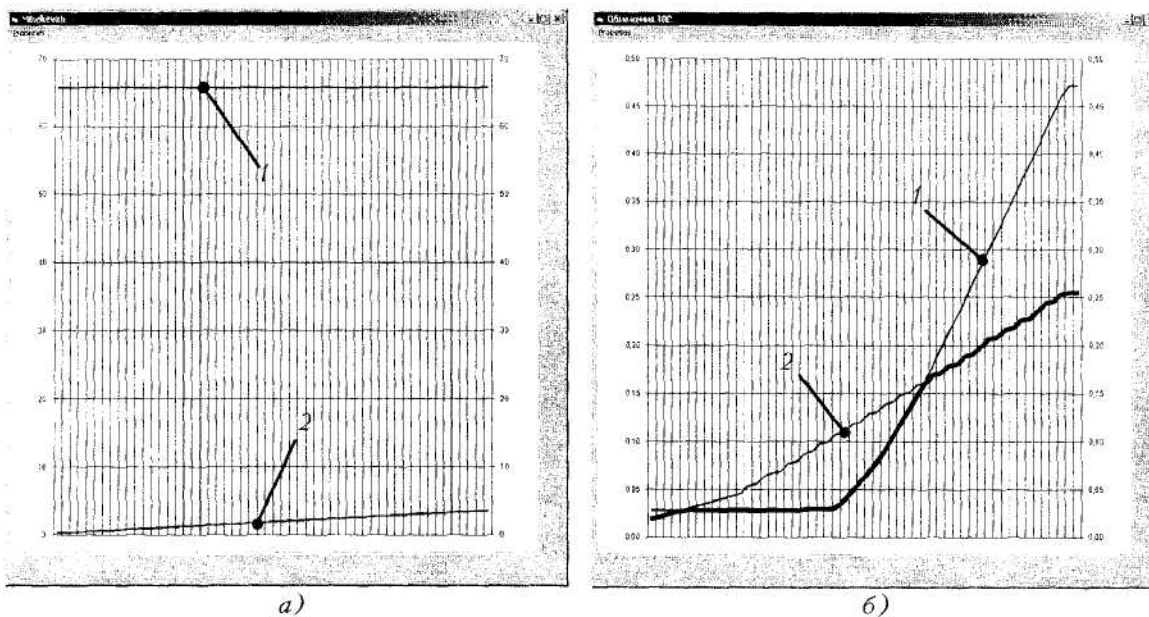


Рис. 6. Граничні закони для процесів шліфування:
а) прямого профілю; б) профільної поверхні

Крім абсолютного неврахування навіть характеру обробки отримано два самовиключаючі обмеження: фактично закон для цього випадку обмежений лише безприпальним характером обробки, що не є правильним, зважаючи на недостатню жорсткість ТОС та мале значення Δ_{max} . Закони, що враховують вищезгадану специфіку обробки, мають зовсім інший характер, причому як для жорсткості, так і для безприпального шліфування (ліні 1 і 2 на рис. 6, б). Спадаючий характер лінії 1 обумовлено постійно зростаючою шириною шліфування, стабілізація ж даного параметра обумовлює постійний характер обмеження. Спадаючий

характер лінії 2 визначається постійним зменшенням величини h_{ik} , а кінцеве значення характеризується значеннями емпіричних коефіцієнтів a_1 і a_2 . На основі представлених обмежень отримуємо граничний закон управління врізною подачею профільного шліфування внутрішніх гвинтових канавок як результуючу визначених фазових обмежень (рис. 6, б).

Проведене моделювання виявило неспроможність існуючих методик визначити граничну область управління внутрішнім профільним шліфуванням. Особливості процесу вимагають індивідуального підходу до кожної деталі навіть при їх обробці на однаковому обладнанні. Отриманий граничний закон є вихідною умовою для визначення оптимального закону управління внутрішнім шліфуванням гайок пар кочення. Тому доцільно використовувати дану програму як складову частину програмного забезпечення визначення оптимального закону управління. А представлена методика є універсальною при визначенні граничних умов для будь-якого профілю деталі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.Н. Паршаков, В.И. Свищев, В.П. Ларшин. – К.: Техніка, 1983. – 184 с.
2. Михалькевич В.И. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1971. – 214 с.
3. Петраков Ю.В. Производительность при контурном шлифовании // Станки и инструмент. – 1989. – № 1. – С. 19–21.
4. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 380 с.
5. 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, завідувач кафедри технології машинобудування ММІ Національного технічного університету України «КПІ». Наукові інтереси: – управління процесами обробки складних поверхонь. Тел.: 441-17-55

СУБІН Анатолій Анатолійович – інженер, асистент кафедри технології машинобудування ММІ Національного технічного університету України «КПІ». Наукові інтереси: – управління шліфуванням внутрішніх профільних поверхонь. E-mail: tm_mmi@users.ntu-kpi.kiev.ua

Подано 30.01.2003