

ШЛІФУВАННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ АБРАЗИВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З КУТОВОЮ ОРІЄНТАЦІЄЮ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Деталі, що мають фасонну поверхню обертання або гвинтову поверхню, широко розповсюджені в сучасному машинобудуванні. Це кільця підшипників, ходові гвинти, оправки станів холодної прокатки труб та інші деталі. До робочих поверхонь цих деталей, як правило, ставляться високі вимоги як по геометричній точності, так і по якості обробки поверхневого шару [1]. Ці деталі обробляються шліфуванням.

Найбільш продуктивним способом обробки шліфуванням криволінійних поверхонь обертання, або гвинтових поверхонь деталей є обробка методом копіювання. Для цього методу характерна висока ефективність та простота формоутворюючих рухів. Але цей спосіб має багато недоліків, деякі з них:

- нерівномірне питоме навантаження та товщина шару, що зрізається, вздовж профілю абразивного інструменту, внаслідок чого відбувається нерівномірний знос [2];
- змінна продуктивність обробки за часом врізання, максимальне значення подачі на оберт при цьому визначається в заключний момент при формоутворенні для центральної точки профілю [3];
- температура в зоні обробки крайніх ділянок профілю деталі є значною внаслідок того, що товщина шару, що зрізається, в напрямку нормалі до поверхні, яка оброблюється, є малою, а тертя в цій зоні є значним та відбувається на дузі більшої довжини. Так, наприклад, при обробці кільця підшипників крайні ділянки профілю мають більший нахил до осі, для них дуга контакту при обробці, що визначається приведеним радіусом, є значно більшою [4];
- довжина врізання $l = \delta / \cos \theta_{\max}$ більше припуску δ на обробку і залежить від максимального кута підйому профілю твірної θ_{\max} [3].

Одним з шляхів позбавлення цих недоліків може бути використання способу обробки орієнтованим інструментом [5]. При цьому під час врізання інструмент додатково змінює кутову орієнтацію відносно деталі.

Відомі математичні 2D моделі, що описують процес формоутворення дискретними перерізами, не відображають параметр гвинтового руху [6]. Це знижує точність процесу формоутворення.

Метою роботи є розробка програми для відображення процесу формоутворення фасонних поверхонь інструментом, що має кутову орієнтацію, та рекомендацій по впровадженню даного способу на верстатах з ЧПК, де є можливість обробки при перехресчених осях інструмента та деталі.

Також, метою є проведення порівнювального аналізу ефективності вказаного методу обробки. Математичний апарат даної статті опирається на матричний спосіб перетворення координат [7], а програми розроблені в пакеті MathCAD [8].

В якості 3D моделі деталі в даній статті обрано жолоб на поверхні внутрішнього кільця підшипника. Ця поверхня може бути описана радіус-вектором (рисунок 1)

$$\overline{R_d}(\Theta, \theta) = A^5(\Theta) \cdot A^1(-R_1) \cdot A^6(-\theta) \cdot A^1(R) \cdot \overline{e^4}. \quad (1)$$

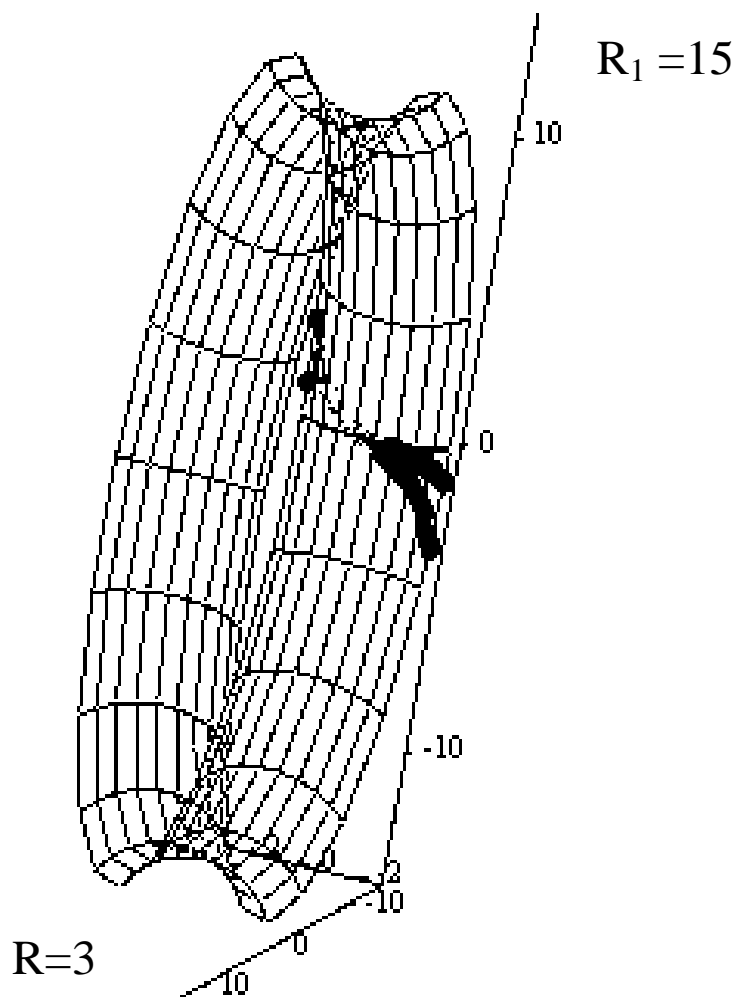


Рисунок 1 – Поверхня деталі та положення ліній контакту на ній для кутів орієнтації $\alpha=9^\circ$ та $\alpha=3^\circ$

У рівнянні (1) R – значення радіуса профілю жолоба ($R=3$); R_1 – радіус деталі ($R_1=15$); значення кутового параметра θ , що описує профіль жолобу (обмежено максимальним значенням кута $\theta_0=60^\circ$); Θ – кутовий параметр ($0^\circ \leq \Theta < 360^\circ$). Матриці A^1, \dots, A^6 розміром 4×4 відображують перетворення систем координат вздовж та навколо координатних осей, $\overline{e^4} = (0,0,0,1)^T$ – координати біжучої точки поверхні деталі [7].

Для профілювання інструмента необхідно скласти рівняння, яке визначає лінію контакту $\overline{V} \cdot \overline{n} = 0$, (2)

де \bar{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі,

\bar{V} – вектор швидкості відносного руху цієї поверхні в системі координат інструмента.

Вектор нормалі, як відомо, може бути знайдений як векторний добуток векторів дотичних до поверхні деталі. Для їх знаходження необхідно диференціювати радіус-вектор поверхні деталі по обох параметрах.

Для знаходження вектора відносної швидкості необхідно перенести радіус-вектор поверхні деталі в систему координат інструменту та диференціювати його за часом, тобто за кутовим параметром β , який визначає кутове положення деталі в системі координат інструмента. В рівнянні (3) кутовий параметр β є єдиним, що змінюється за часом обробки

$$\bar{R}_{id}(L, \beta, \alpha, \Theta, \theta) = A^6(\beta) \cdot A^4(\alpha) \cdot A^1(L) \cdot \bar{R}_d(\Theta, \theta), \quad (3)$$

де L – відстань між початками систем координат деталі та інструмента,

α – кут перехрещення осей обертання деталі та інструмента.

Складена програма дозволила обчислити положення лінії контакту на поверхні деталі в залежності від кута перехрещення осей α . На рисунку 1 показано положення ліній контакту, що знаходяться на поверхні деталі, для двох значень кута перехрещення осей $\alpha = 3^\circ$ та $\alpha = 9^\circ$. На рисунку 2 показана функціональна залежність $\Theta = f(\theta)$ кута Θ відхилення лінії контакту з осьової площини XOZ по кутовому параметру θ , що описує профіль жолобу деталі для цих же значень кута α .

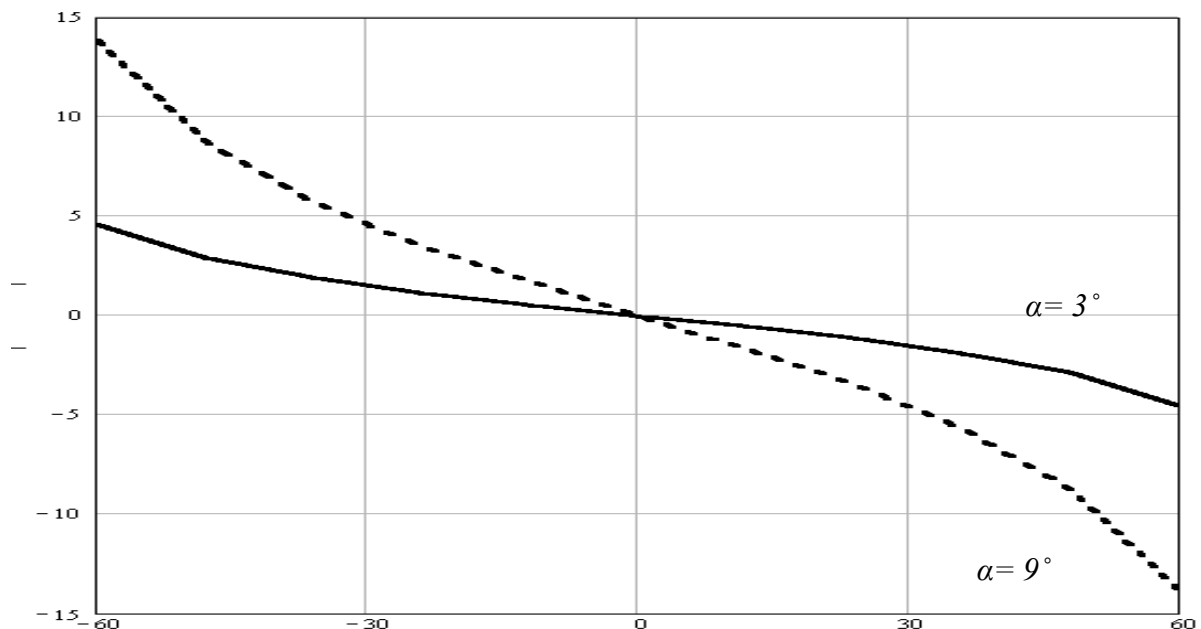


Рисунок 2 – Залежність між кутами $\Theta=f(\theta)$

При обертанні лінії контакту навколо осі інструмента утворюється його поверхня. На рисунку 3 показані осьові профілі деталі (верхня основна лінія), інструмента (масив точок) та дуга кола, що замінює профіль інструмента (нижня основна лінія). Інструмент знаходиться знизу від деталі.

Аналізуючи цей рисунок, можна зробити наступні висновки:

1. При вказаному значенні половини центрального кута ($\theta_0=60^\circ$) спрофілюваний інструмент значно, в 1,6 рази, вужчий за деталь. Профіль інструмента симетричний та наближується до дуги кола меншого радіусу. За допомогою методу нелінійної регресії [8] його було замінено на дугу кола. При цьому, при радіусі жолобу 3 мм та близькому до максимального значенні кута $\alpha = 12^\circ$, радіус профілю інструмента становив $R_{np} = 2.32$ мм, а похибка заміни дугою Δ не перебільшувала 6 мікрметрів вздовж всього профілю. Якщо інструмент для правки (наприклад, алмазний олівець) рухати не в осевій площині шліфувального кола, а винести з неї на деяку відстань, значення якої можливо, знов таки, встановити методом нелінійної регресії, похибку профілю при заміні можливо значно зменшити. Це спрощує профілювання абразивного інструмента, використовуючи обробку за даним методом.

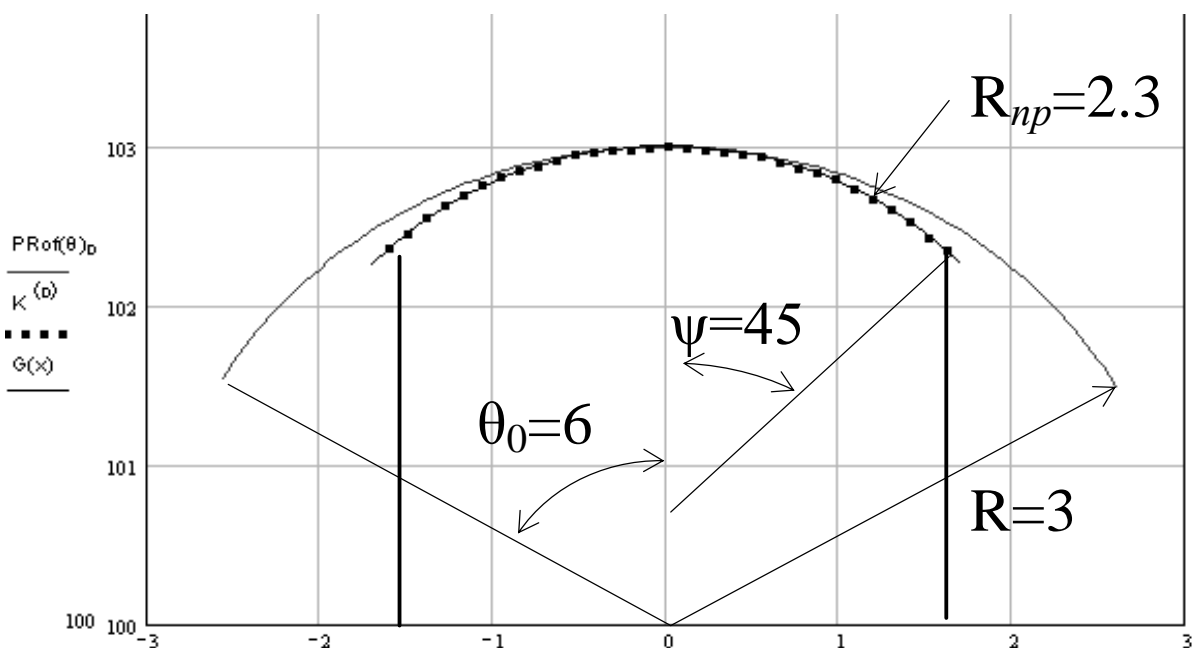


Рисунок 3 – Порівняння профілів інструмента (вказано точками) та деталі (вказано основною лінією)

2. Крайні ділянки профілю інструмента утворюють значно менший кут з його віссю, що є більш доцільним для умов різання. Так, крайні ділянки профілю інструмента нахилені до його осі на кут $\psi = 45^\circ$, для жолобу деталі з половиною центрального кута $\theta_0 = 60^\circ$ при куті перехрещення осей $\alpha = 12^\circ$ (дивись рисунок 3).

3. Одночасно було проаналізовано, наскільки отримане значення радіуса дуги, що замінює профіль побудованого інструмента, відрізняється від радіуса, що обчислюється за рівнянням Ейлера

$$\frac{1}{R} = \frac{\cos^2 \alpha}{R_{np}} + \frac{\sin^2 \alpha}{R_{in}}. \quad (4)$$

Звідки

$$R_{np} = \frac{\cos^2 \alpha}{\frac{1}{R} - \frac{\sin^2 \alpha}{R_{in}}} \quad (5)$$

Так, для випадку, коли $R_{np} = 3$, $R_{in} = 100$ та кута перехрещення осей $\alpha = 12^\circ$, значення $R_{np} = 2.87$ мм. Тому, для даного випадку, коли лінія контакту має значну довжину, рівняння Ейлера не є прийнятним. Залежність радіуса профілю R_{np} від кута перехрещення осей α представлена на рисунку 4.

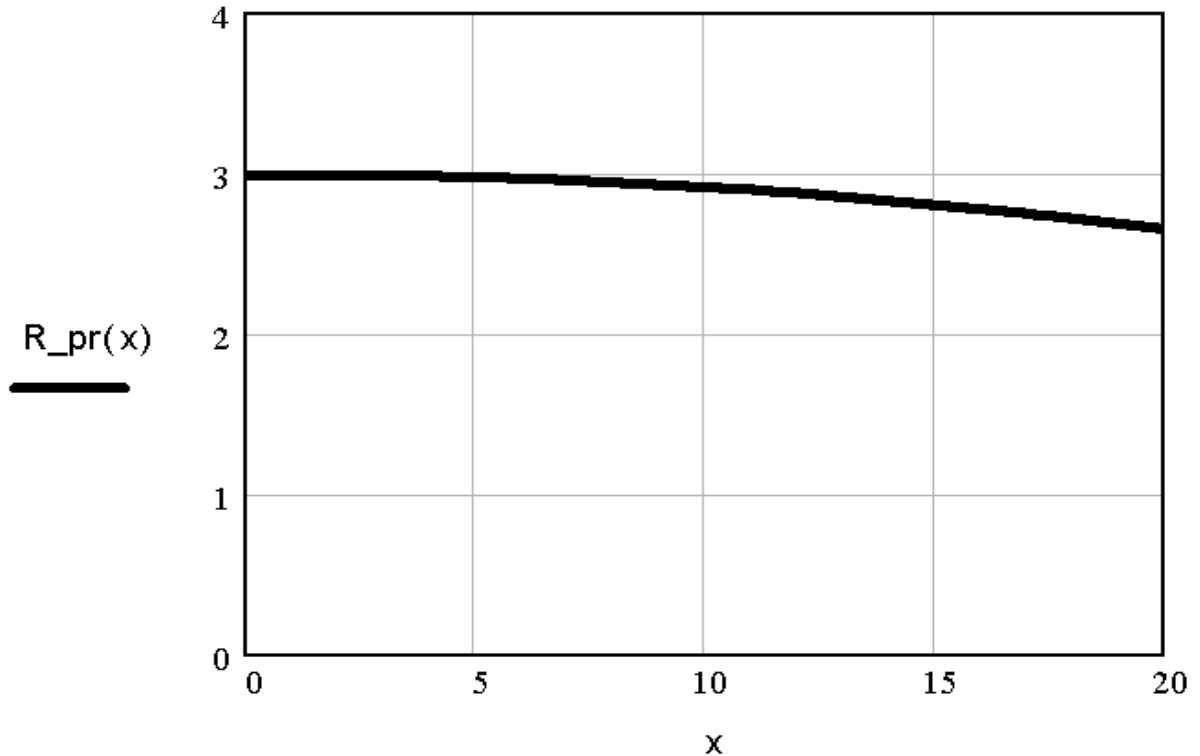


Рисунок 4 – Залежність радіуса профілю R_{np} від кута перехрещення осей α

4. Існують максимальні значення кута орієнтації (перехрещення) α , які визначаються кутом θ_0 , головними радіусами кривизни деталі R та R_1 . При перебільшенні граничних значень кута перехрещення α на профілі інструмента починають з'являтися особливі точки різкого перегину.

5. Діаметр абразивного кола впливає на максимальне значення кута орієнтації α . При збільшенні діаметра абразивного кола значення α незначно зменшується.

6. Збільшення центрального кута θ_0 призводить до значного зменшення граничного кута орієнтації α . При цьому профіль інструмента наближується до профілю деталі.

Розроблені модель та програма розрахунку можуть бути використані для визначення:

- ефективності обробки орієнтованим інструментом;
- оптимального кута орієнтації під час врізання для зменшення допоміжного ходу інструмента;

- параметрів процесу формоутворення інших криволінійних поверхонь обертання;
- товщини шару, що зрізається однією ріжучою крайкою;
- інших задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кальченко В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с., ил.
2. Эльянов Э.Д. Шлифование в автоматическом цикле – М.:Машиностроение, 1980. – 101 с., ил.
3. Григорьян Г.Д., Мухортов В.Н. Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения – Станки и инструмент, 1986, №12 с.23-74.
4. Температура и мощность резания при профильном шлифовании методом копирования/ В.И.Потемкин, Б.Г.Барышников, В.Г.Самусов, Н.Н.Ханжин. – В кн.: – Сб. трудов ППИ., Пермь, 1973, №143, 194 с.
5. Способ шлифования желоба на круглой детали Авторское свидетельство 1301660 СССР, МКИ В24В 19/06 / В.И. Кальченко, А.Г. Шеша. № 3973158131-08. Заявлено 10.11.9; опубл. 07.04.87. Бюл. №13.- с.4
6. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента / Диссертация ... докт. техн. наук, Харьков,1994, -491 с.
7. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.; Машиностроение, 1986. – 336 с., ил.
8. Дьяконов В. MathCAD 2000: учебный курс – СПб; Питер, 2000. – 592 с.; ил