

## ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ГВИНТОВИХ ПЕРЕДАЧ ГАРАЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

### **Вступ**

В гаражному обладнанні широко використовуються гвинтові передачі: трапецеїдальні, прямокутні, метричні, а останнім часом отримали широке розповсюдження гвинтові передачі кочення. Гвинтові передачі використовують в підйомниках, домкратах, поворотних платформах та інших механізмах гаражного обладнання [1].

Ремонт гвинтових передач виконують методом наплавки. В процесі виробництва та ремонту профіль різі, як правило, шліфують методом копіювання, при цьому профіль круга відповідає профілю різі. В процесі обробки круг нерівномірно зношується, тому для відновлення профілю застосовують часті правки круга алмазним олівцем або алмазним роликком.

Запропонований у роботі спосіб шліфування методом копіювання гвинтових поверхонь зі схрещеними осями круга і деталі [2, 3] підвищує продуктивність за рахунок погоджування одночасних поперечного та кутового переміщень відносно нормалі в опорній точці профілю, що дає можливість знімати припуск по еквідистантним кривим. В роботі [4] радіус профілю круга вибирається рівним радіусу заготовки. Розрахунок здійснюється за допомогою 2D моделей, без оптимізації положення лінії контакту в процесі зняття припуску, формоутворення і профілювання круга. Необхідно розробити 3D моделі профілювання круга, зняття припуску і формоутворення, на основі аналізу яких розробити способи і технологію з метою підвищення продуктивності, точності і універсальності методу шліфування зі схрещеними осями круга та деталі.

### **Методи та результати**

Шліфування різі ходових гвинтів кочення здійснюють методом копіювання абразивним кругом із профілем у вигляді дуги кола [5]. Обробку проводять зі схрещеними осями деталі і круга, вісь обертання якого розташована під кутом до горизонтальної площини, рівним куту нахилу гвинтової канавки. Процес шліфування є багатопрхідним, де при зніманні припуску кут нахилу круга залишається постійним, тому довжина і площа контакту його і деталі змінюється по координаті обробки профілю, величина врізання інструмента в напрямку, перпендикулярному осі обертання ходового гвинта, більше еквідистантно заданого припуску, що знижує продуктивність і якість шліфування.

Для підвищення ефективності шліфування ходових гвинтів кочення зі схрещеними осями інструмента і деталі необхідно розробити 3D моделі профілювання абразивного круга, знімання припуску, формоутворення і на їхній базі створити метод керування процесом, що підвищить продуктивність і якість обробки на верстатах з ЧПК. Знімання припуску по еквідистантних кривих вимагає спеціального профілювання круга, що враховує геометричні параметри заготовки і деталі. Радіус-вектор  $\vec{r}_u$  точок шліфувального круга 1 (рис. 1) [6] при шліфуванні зовнішніх гвинтових поверхонь 2 описується рівнянням

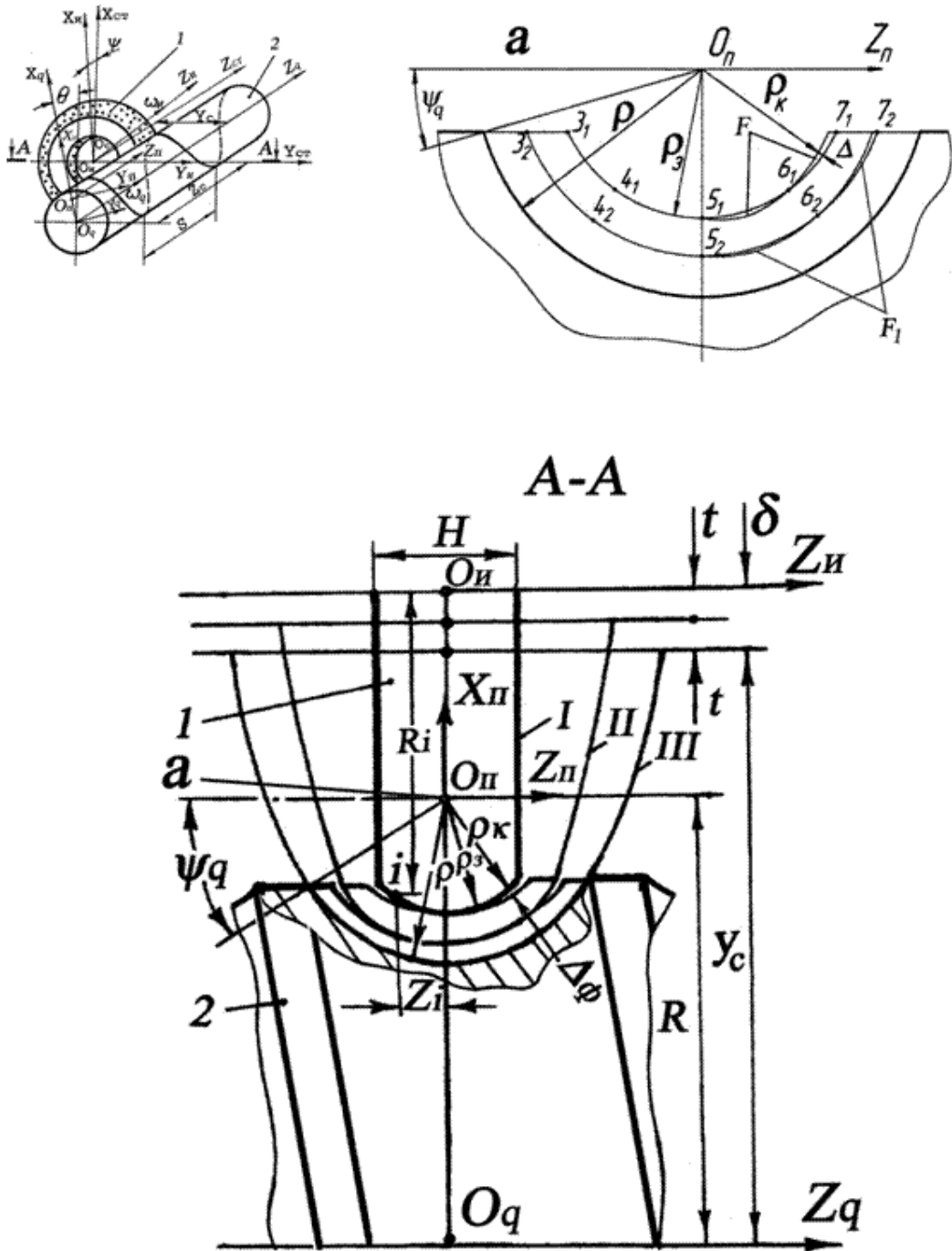


Рисунок 1 – Схема шліфування ходового гвинта кочення

$$\begin{aligned} \bar{r}_u = & M_6(\theta_k) \cdot M_5(\psi) \cdot M_2(Y_c) \cdot M_3(Z_c \mp P \cdot \theta) \times \\ & \times M_6(-\theta) \cdot M_1(R) \cdot M_4(\varphi) \cdot M_5(\psi_q) \cdot M_3(-\rho) \cdot \bar{e}_4, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $Y_c, Z_c$  – координати початку координат  $O_q$  гвинта кочення 2 (рис. 1) у системі координат  $O_c X_{CT} Y_{CT} Z_{CT}$  станини;

$R$  – радіус початку координат  $O_n$  співпадаючого з центром радіуса  $\rho$  профілю різи, розташованого нормально до гвинтової канавки;

$\varphi = \arctg(S/2\pi R)$  – кут її нахилу;

$\psi_q$  – кутовий параметр точки нормального профілю різи радіусом  $\rho$  відносно осі  $O_n Y_n$  системи координат  $O_n X_n Y_n Z_n$ .

При профілюванні інструмента рівняння, що визначає лінію контакту з умови

$$\bar{n}_q \cdot \bar{V}_q = 0 \quad (2)$$

де  $\bar{V}_q$  – вектор швидкості відносного руху деталі;

$\bar{n}_q$  – одиничний вектор нормалі до поверхні деталі.

Від кута  $\psi$  повороту круга під час правки і його знаку (рис. 1, А-А) залежить радіус кривизни  $\rho_k$  його осьового перерізу і необхідна висота  $H$  круга. Коли напрямок осі  $O_q X_q$  збігається з віссю  $O_c Y_{CT}$  (рис. 1) і кут повороту  $\psi$  круга дорівнює куту  $\varphi$  нахилу гвинтової канавки,  $\rho_k = \rho$  нормального профілю різи. При цьому лінія контакту гвинтової поверхні і круга лежить у площині, що проходить через вісь  $O_c Y_{CT}$  його повороту нормально до гвинтової канавки. Необхідна висота круга  $H$  дорівнює

$$H = Z_{imax} - (-Z_{imin}), \quad (3)$$

де  $Z_{imax}$  і  $-Z_{imin}$  – координати, крайніх осьових перерізів круга, розташованих уздовж осі  $OZ_u$ , початок  $O_u$  координат якого знаходиться в площині симетрії круга (рис. 1, А-А).

Зі зміною кута  $\psi$  лінія контакту  $L$  виходить із зазначеної площини,  $\rho_k$  і висота круга  $H$  (рис. 1, А-А) зменшуються. При цьому величини  $\rho_k$  і  $H$  залежать не тільки від кута  $\psi$  повороту круга 1, але і від його знака.

Як показали обчислювальні експерименти на ЕОМ, при шліфуванні ходового гвинта кочення, у якого  $\rho = 10$  мм,  $R = 40$  мм,  $S = 30$  мм, кругом з радіусом  $R_k = 50$  мм, максимальна розрахункова (3) висота круга  $H_{max} = 14,14$  мм, при  $\psi = \varphi = -8^\circ$ , і мінімальна  $H_{min} = 3,49$  мм, при  $\psi = -36^\circ$  (рис. 2, а). Зі збільшенням радіуса круга ( $R_k = 75$  мм (рис. 2, б)  $H_{min} = 3,62$  мм, при  $\psi = -33,5^\circ$ ;  $R_k = 100$  мм (рис. 2, в),  $H_{min} = 3,87$  мм, при  $\psi = -32^\circ$ )  $H_{min}$  круга збільшується незначно. Зі збільшенням кроку різи (при радіусі круга  $R_k = 100$  мм) від  $S = 30$  мм (рис. 2, г) до  $S = 50$  мм (рис. 2, е)  $H_{min}$  змінюється в межах  $2,34 \div 3,51$  мм. Це дає можливість, змінюючи радіус кривизни  $\rho_k$  профілю осьового переріза круга і його висоту  $H_{min}$ , знімати різні припуски  $\delta$  по еквідистантних кривих, а також компенсувати знос

профілю круга за рахунок керування поперечною подачею його і поворотом в адаптивному режимі. Можливість застосування кругів малої висоти  $H_{\min}$  (3) для шліфування профілю різі ходових гвинтів кочення дозволяє використовувати вискоефективні алмазні і ельборові круги на фінішній операції, а сталість глибини різання  $t$  по координаті обробки профілю протягом усього проходу забезпечить високу якість шліфування гвинтової поверхні.

Радіус-вектор  $\vec{r}_{qu}$  оброблюваної поверхні ходового гвинта кочення дорівнює

$$\vec{r}_{qu} = M_6(\theta) \cdot M_3(Z_c \mp P \cdot \theta) \cdot M_2(-Y_c - t \cdot k) \times \\ \times M_5(-\psi) \cdot M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_2(R_i) \cdot \vec{e}_4, \quad (4)$$

де  $t$  – величина поперечної подачі круга 1 (рис. 1, А-А) у напрямку, перпендикулярному осі  $O_q Z_q$  обертання гвинта 2 на 1 прохід;

$k$  – число поздовжніх проходів круга при зніманні припуску  $\delta = t \cdot k$ .

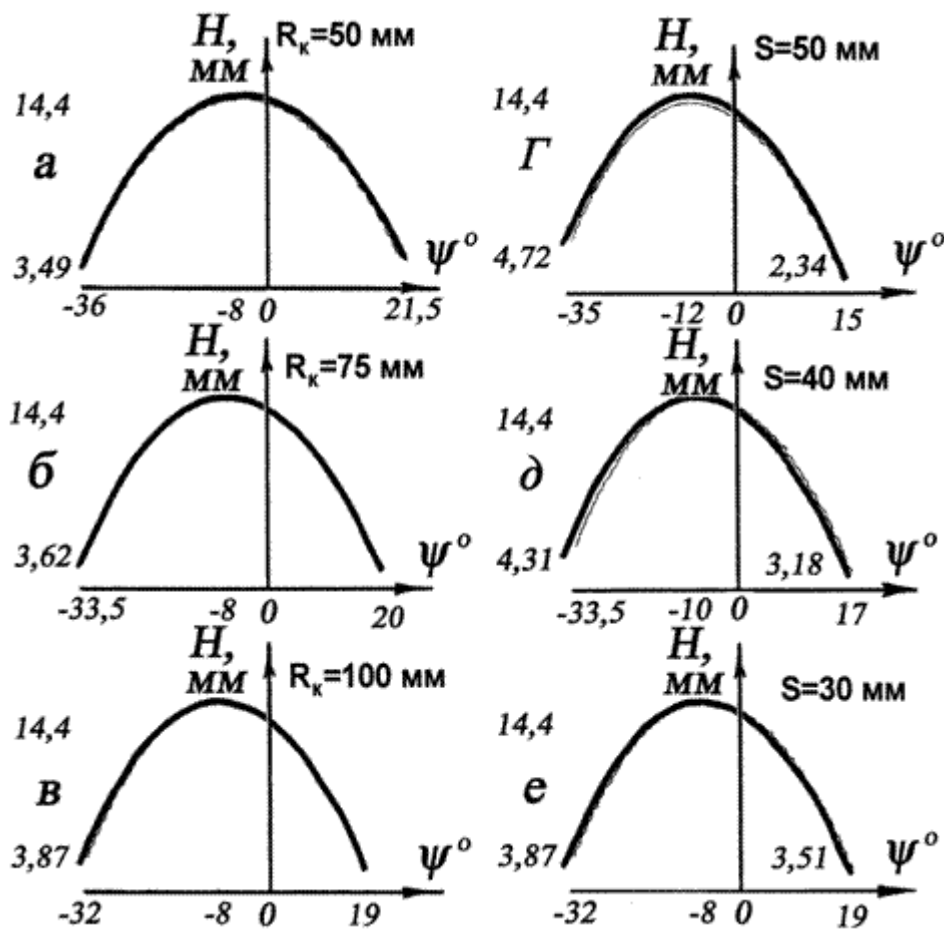


Рисунок 2 – Графіки залежності розрахункової висоти  $H$  круга від його радіуса  $R$ , кута схрещування  $\psi$  і кроку різі  $S$

Лінію контакту круга 1 і деталі 2 (рис. 1) визначають з умови  $\vec{n}_k \cdot \vec{V}_k = 0$ ,  $\vec{V}_k$  – вектор швидкості відносного руху круга 1;  $\vec{n}_k$  – одиничний вектор нормалі до поверхні круга.

Поточний радіус кривизни  $\rho_3$  (рис. 1, А-А) нормального профілю різі заготовки ходового гвинта кочення у процесі знімання припуску  $\delta$  залежить від поточних значень кута  $\psi$  повороту круга і відстані  $l$  між осями його  $O_u Z_u$  і гвинта  $O_q Z_q$

$$l = -Y_c - t \cdot k, \quad (5)$$

У процесі формоутворення зовнішньої гвинтової поверхні кочення 2, коли припуск знятий,  $\delta = 0$  і  $l = Y_c$  (5), а кут повороту круга під час правки  $\psi_n$  дорівнює куту повороту при формоутворенні  $\psi_\phi$ , радіус кривизни нормального профілю оброблюваної гвинтової поверхні  $\rho_{zi}$  дорівнює номінальному радіусу  $\rho$  нормального перетину гвинтової канавки (рис. 1, А-А, III) і геометрична похибка [7] формоутворення  $\Delta_\phi = \rho_{zi} - \rho = 0$ .

Перед зніманням припуску  $\delta$  інструментальну поверхню розраховують (1) для такого кутового положення  $\psi_n$  круга 1, щоб його радіус кривизни  $\rho_k$  осьового перерізу був менше радіуса  $\rho_3$  заготовки нормального перетину зовнішньої гвинтової поверхні кочення (рис. 1, А-А, I). Визначення дискретного кута  $\psi$  положення круга (при поперечній подачі на глибину  $t$  наприкінці кожного проходу в процесі знімання припуску  $\delta$ ), що забезпечує мінімальне відхилення  $\Delta$  поточного радіуса кривизни  $\rho_{zi}$  нормального перетину оброблюваної гвинтової поверхні від заданого  $\rho_{zn} = \rho - t \cdot k$  у вигляді дуги кола, здійснювалося за методикою, наведеною в роботі [7]. При цьому в поточній опорній точці 5 (рис. 1, а) і в двох 4 і 6 суміжних з нею  $\Delta = \rho_{zi} - \rho_{zn} = 0$ . Кут  $\psi$  повороту круга, що забезпечує  $\Delta = 0$  у точках 4 і 6, визначають з виразу

$$\bar{\Delta} = \psi \cdot \bar{l}_\psi, \quad (6)$$

де  $\bar{l}_\psi$  – передатний коефіцієнт

$$\begin{aligned} \bar{l}_\psi = & M_3(-Z_c \pm P \cdot \theta) \cdot M_2(-Y_c - t \cdot k) \cdot \frac{\partial \delta_{nos}}{\partial \psi} \times \\ & \times M_5(-\psi) \cdot M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_2(R_i), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $\frac{\partial \delta_{nos}}{\partial \psi} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$  – частинна похідна матриці  $\delta_{nos}$  повороту [8].

Значення інших параметрів у рівнянні (7) аналогічні наведеним у рівняннях (1), (4).

Скалярний вираз похибки  $\Delta_n$  одержують проектуванням  $\bar{\Delta}$  на напрямок нормалі до оброблюваної поверхні

$$\Delta_n = \bar{\Delta} \cdot \bar{n}, \quad (8)$$

де  $\bar{n}$  – орт нормалі до поверхні в оброблюваній точці, що визначається за методикою [8].

В інших точках 3, 7 і між точками 3, 4, 5, 6, 7, у межах лінії контакту круга і гвинта кочення, стабілізація знімаемого об'єму, здійснюється за методом найменших квадратів, де різниця площ  $F$  (рис. 1, а), розташованих над номінальною лінією припуску  $\rho_3$  і під нею, є мінімальна. При цьому в міру знімання припуску  $\delta$  величина площ  $F_1$  зменшується (точки 5<sub>2</sub>, 6<sub>2</sub>, 7<sub>2</sub>) і в процесі формоутворення  $(\rho)F = 0$ .

### **Висновки**

Для підвищення продуктивності виробництва гвинтових передач, які використовують в гаражному обладнанні, розроблено новий спосіб та тривимірні геометричні моделі процесів зняття припуску, формоутворення і профілювання абразивного круга при шліфуванні зовнішньої гвинтової поверхні на верстатах з ЧПК з керованим кутом схрещення осей інструмента і гвинта кочення.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Конарчук В.Є.* Виробничі системи на транспорті: Підручник. – К.: Вища школа, 2007. – 256 с.
2. А.с. 1301660 СССР, МКИ В24В 19/06. Способ шлифования желоба на круглой детали. Авт. изобр. *В.И. Кальченко, А.Г. Шеша*. № 3973158/31–08; Заявлена 10.11.85; Оpubл. 07.04.87, Бюл. №13. – 4 с.
3. А.с. 1731601 СССР, МКИ В24В 19/6. Способ шлифования винтовой поверхности. Авт. изобр. *В.И. Кальченко, А.Г. Шеша*, № 4653028 / 08. Заявлено 21.02.89. Оpubл. 07.05.92. Бюл. № 17. – 4с.
4. *Кальченко В.И.* Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.
5. *Григорьян Г.Д., Мухортов В.Н.* Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения // Станки и инструмент.- 1986, N12, С. 23-24.
6. *Кальченко В.В.* 3D моделирование шлифования винтовых поверхностей на станках с ЧПУ с управляемым углом скрещивания осей круга и ходового винта качения // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн. – техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”.- 2002, Вып. 61, С.84 – 89.
7. *Кальченко В.В.* Трехмерное геометрическое моделирование погрешности шлифования поверхностей со скрещивающимися осями кругов и деталей/ Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн. – техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. Вып. 60. С. 90 – 96.
8. *Решетов Д.Н., Портман В.Т.* Точность металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.