

УДК 621.993.2

О.Л. Кондратюк, Ю.І. Сичов, А.О. Скоркін

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ РІЗЬБИ ПРИ ОХОПЛЮЮЧОМУ РІЗЬБОФРЕЗЕРУВАННІ**

У статті описаний метод нарізування різьби при різьбофрезеруванні. Наведено результати розрахунку геометричною складовою формування різьби при охоплюючому різьбофрезеруванні.

**Ключові слова:** формування різьби, різьбофрезерування.

**Вступ**

При проектуванні різьбоутворюючого інструмента на основі різьбової фрези основну увагу необхідно приділяти його різьбоутворюючій частини, що впливає на точність профілю нарізаємої різьби.

**Основна частина**

Вибір внутрішнього діаметра різьбоутворюючої частини інструмента залежить від ряду факторів. Наприклад, з погляду продуктивності необхідно максимальне збільшення внутрішнього діаметра різьбоутворюючої частини інструмента. З іншого боку, збільшення діаметра спричиняє складність реалізації процесу обробки на верстаті через більші габарити інструмента. Але в той же час величина внутрішнього діаметра фрези значно впливає на точність профілю отриманої різьби – при зменшенні внутрішнього діаметра інструмента дуга його контакту із заготівкою збільшується, що визначає збільшення розбивки профілю різьби (рис. 1).

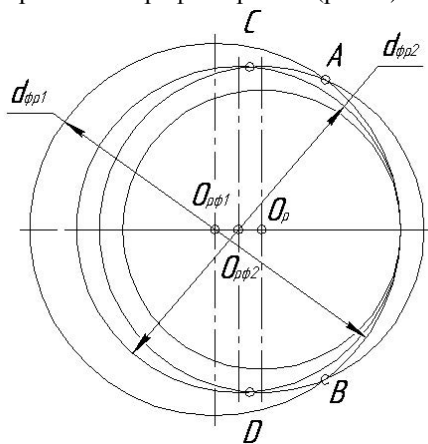


Рис. 1. Схема порівняння величини дуги контакту нарізаємої різьби з інструментами різного діаметра

Таким чином, основним завданням є знаходження діаметра різьбоутворюючої частини інструмента, при якому отримана різьба задовольняла б вимогам ступеня точності.

У процесі формування різьбового профілю кожний виток різьби виконується відповідним йому різьбовим кільцем інструмента. Оскільки викону-

ється однакова робота з нарізування кожного витка різьби, обмежимося розглядом роботи одного кільця.

На рис. 2 профілі різьби та інструмента представлені у вигляді трикутника з теоретично гострою вершиною і кутом профілю  $60^\circ$ .

Призначимо систему координат  $X_p, Y_p, Z_p$  із центром у т.  $O_p$  на осі різьби. У процесі роботи інструмент робить головний рух різання  $D_f$ , планетарне обертання  $D_{S2}$  навколо т.  $O_p$  по окружності радіуса  $r_n = e$  і вісьове переміщення  $D_s$ , яке можна оцінити на розгорненні різьби, представленій на правій проекції.

На рис. 2 прийняті наступні позначення: 1...9 – точки, що позначають положення інструмента, через які проходять вісьові перерізи (перетину, що проходять через вісі різьби та інструмента);  $1_0 \dots 9_0$  – точки, що позначають положення центра обертання інструмента;  $\Theta$  – кут між сусідніми положеннями інструмента;  $\eta_i$  – кут між перетином А-А та і-м положенням інструмента ( $\eta_i = m\Theta$ , де  $m$  – ціле число, що визначає кількість положень інструмента від положення інструмента в перетині А-А), на рисунку представлений кутом  $\eta_9$ ;  $\psi$  – кут розгорнення різьби по зовнішньому діаметру.

Розглянемо процес формування деякого довільного перетину А-А різьби, що утвориться послідовними положеннями інструмента 1...9.

Для цього введемо систему координат  $X_B, Y_B, Z_B$  з початком у вершині формованого профілю різьби, причому  $Z_p = Z_B, Y_p = Y_B$ . У положенні 1 різьбофреза ще не проходить через розглянутий перетин А-А. У положенні 2...8 інструмент формує різьбовий профіль, а в положенні 9 інструмент уже вийшов з нього. Координати  $y_{B_i}$  і  $z_{B_i}$  (на рис. 2 представлені координатами точки 9) визначаються на відповідних проекціях і є точками кривої руху вершини зуба інструмента в западині різьблення щодо теоретичного профілю різьблення. З рисунку видно, що зміна координати  $Z_B$  лінійна, а зміна координати  $Y_B$  нелінійна. Виходить складна, симетрична щодо вісі  $Y_B$ , крива, що перетинає теоретичний профіль різьби в деяких точках с і d. Крива також має дві симетричні точки а і b, які максимально вилучені від теоретичного профілю різьби. Очевидно, що зуб формує остаточний профіль саме тоді, коли його

вершина перебуває в точках а і b. Таким чином, ми одержали графічно "розбитий" профіль різьби з піднятими на величину  $\Delta P_{\max}$  середнім і зовнішнім діаметрами.

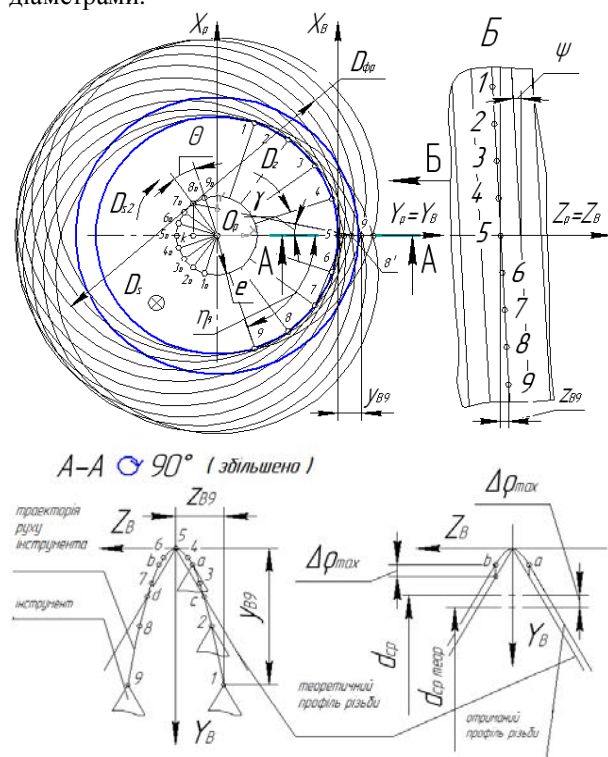


Рис. 2. Схема формування зовнішнього різьбового профілю різьбофрезою

Опишемо отриману проекцію траєкторії руху вершини зуба інструмента (рис. 2). Кожна точка кривої в перетині А-А визначається координатами  $y_{Bi}$  і  $z_{Bi}$ . Розглянемо геометричне знаходження координати  $y_{Bi}$ .

З  $\Delta O_p \delta_0 k$ :

$$\overline{\delta_0 k} = e \cdot \sin \eta_8,$$

де  $e = (D_{\phi p} - d_1) / 2 = |D_{\phi p} - (d_p - 2 \cdot h)| / 2$ , мм;  $D_{\phi p}$  – діаметр різьбофрези по вершинах ріжучих зубів, мм;  $d_1 = d_p - 2 \cdot h$  – діаметр різьби по впадинам, мм;  $d_p$  – діаметр різьби, мм;  $h = 0,866 \cdot P$  – висота різьбового профілю, мм;  $P$  – крок різьби.

З  $\Delta \delta^8_0 k$ :

$$\sin y = \frac{\overline{\delta_0 k}}{D_{\phi p} / 2} = \frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\phi p} / 2};$$

$$\overline{k\delta^8} = \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\phi p} / 2} \right) \right] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2};$$

$$\overline{58^8} = y_{B8} = \overline{k\delta^8} - (e \cdot \cos \eta_8 + d_1) =$$

$$= \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e \cdot \sin \eta_8}{D_{\phi p} / 2} \right) \right] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2} - (e \cdot \cos \eta_8 + d_1 / 2);$$

$$y_{Bi} = \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e \cdot \sin |\eta_i|}{D_{\phi p} / 2} \right) \right] \cdot \frac{D_{\phi p}}{2} - (e \cdot \cos |\eta_i| + d_1 / 2).$$

Тоді проекція траєкторії руху вершини зуба інструмента описується:

$$\delta_{Ai} = \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e \cdot \sin |\eta_i|}{D_{\delta \delta} / 2} \right) \right] \cdot \frac{D_{\delta \delta}}{2} - (e \cdot \cos |\eta_i| + d_1 / 2);$$

$$z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P; \quad \eta_i \in \left[ -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right],$$

$$y_{Bi} = \cos \left[ \arcsin \left( \frac{\sin |\eta_i| \cdot |D_{\delta \delta} - (d_p - 1,732 \cdot P)|}{D_{\delta \delta}} \right) \right] \cdot \frac{D_{\delta \delta}}{2} - \left( \cos |\eta_i| \cdot \left| \frac{D_{\delta \delta} - (d_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right| + \frac{d_p - 1,732 \cdot P}{2} \right);$$

$$z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P; \quad \eta_i \in \left[ -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right].$$

Теоретичний профіль різьби в координатах  $Y_B Z_B$ :

$$y_{Bi} = \frac{\eta_i \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}}; \quad z_{Bi} = \frac{\eta_i}{2 \cdot \pi} \cdot P; \quad \eta_i \in \left[ -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right]$$

Розбивку різьби  $\Delta p$  будемо оцінювати як різницю ординат функції теоретичного профілю різьби та функції траєкторії руху вершини зуба інструмента в координатах  $Y_B Z_B$ .

$$\Delta p_i = \frac{\eta_i \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \pi / 6} -$$

$$\left[ \cos \left[ \arcsin \left( \frac{\sin |\eta_i| \cdot [D_{\delta \delta} - (d_p - 1,732 \cdot P)]}{D_{\delta \delta}} \right) \right] \right] \cdot \frac{D_{\delta \delta}}{2} - \left[ \cos |\eta_i| \cdot \left[ \frac{D_{\delta \delta} - (d_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right] + \frac{d_p - 1,732 \cdot P}{2} \right].$$

Практичний зміст несе розгляд функції при позитивних значеннях  $\Delta p$ .

Знайдемо значення кута  $\eta_{\max}$ , при якому функція  $\Delta p$  розбивки різьбового профілю приймає максимальне значення. Для цього про диференціюємо залежність розбивки  $\Delta p$  від  $\eta$  по  $\eta$ .

$$\frac{d\Delta p(\eta)}{d\eta} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \left( \frac{\sin \eta \cdot [D_{\phi p} - (d_p - 1,732 \cdot P)]}{D_{\phi p}} \right) \times \frac{\cos \eta \cdot [D_{\phi p} - (d_p - 1,732 \cdot P)]}{2 \cdot \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\phi p} - (d_p - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\phi p}^2}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\phi p} - (d_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right].$$

$$\frac{d\Delta p(\eta)}{d\eta} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \frac{\sin \eta \cdot \cos \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (d_p - 1,732 \cdot P)]^2}{2 - D_{\text{фр}} \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_{\text{фр}} - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\text{фр}}^2}}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\text{фр}} - (d_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right]$$

Вирішивши рівняння  $\frac{d\Delta p(\eta)}{d\eta} = 0$ , знаходимо значення кута  $\eta_{\text{max}}$ , а також значення  $\Delta p_{\text{max}}$ .

$$\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6}} + \frac{\sin \eta \cdot \cos \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (d_p - 1,732 \cdot P)]^2}{2 \cdot D_{\text{фр}} \sqrt{1 - \frac{(\sin \eta \cdot [D_{\text{фр}} - (D_{\text{фр}} - 1,732 \cdot P)]^2}{D_{\text{фр}}^2}}}} - \sin \eta \cdot \left[ \frac{D_{\text{фр}} - (d_p - 1,732 \cdot P)}{2} \right] = 0 \Rightarrow \Rightarrow \eta_{\text{max}} \Rightarrow \Delta p(\eta_{\text{max}}) = \Delta p_{\text{max}}$$

Одержавши необхідні залежності, побудуємо графіки функцій  $\Delta p_{\text{max}}$  для зовнішньої різьби М30 залежно від кроку нарізаємої різьби,  $P$  (рис. 4) і діаметра різьбової фрези,  $D_{\text{фр}}$  (рис. 5).

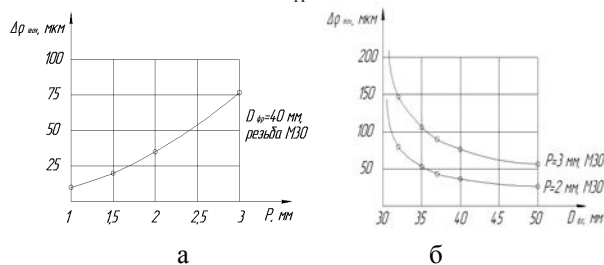


Рис. 4. Графіки залежності величини розбивки різьби  $\Delta p_{\text{max}}$  від: а – кроку  $P$  нарізаємої різьби; б – діаметра  $D_{\text{фр}}$  різьбофрези

Графік залежності  $\Delta p_{\text{max}} = f(D_{\text{фр}})$  при прийнятому кроці  $P$  різьби, дозволяє визначити діаметр фрези, що задовольняє нарізуванню різьби прийнятого ступеня точності.

Сукупність же графіків  $\Delta p_{\text{max}} = f(D_{\text{фр}})$  для різних діаметрів різьб у відносно невеликому діапазоні дозволяє визначити можливість обробки різьбофрезою одного діаметра ряду типорозмірів зовнішніх різьб.

### Висновки

1. При різьбофрезеруванні отриманий профіль різьби не збігається з теоретичним, тобто середній діаметр отриманої різьби зменшується стосовно теоретичного на величину геометричної погрішності профілю нарізаємої різьби.

2. На величину розбивки профілю великий вплив робить крок різьби (рис. 4), оскільки зі збільшенням кроку збільшується кут підйому різьби, отже, ступінь підрізу профілю.

3. Значний вплив робить співвідношення діаметрів різьбофрези та зовнішнього діаметра різьби (рис. 5), чим воно ближче до одиниці, тим більше розбивка, оскільки збільшується кут контакту інструмента та нарізаємої різьби.

### Список літератури

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т.; 8-е изд., переработ, и доп.; под ред. И.Н. Жестковой / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.1. – 902 с.
2. Грудов А.А. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / А.А. Грудов, П.Н. Комаров. – М.: НИИМаш, 1980. – 64 с.
3. Таурит Г.Э. Прогрессивные процессы резьбоформирования / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, С. Добрянский. – К.: Техника, 1975. – 244 с.

Надійшла до редколегії 3.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Я. Мовшович, Харківський НДІ технології машинобудування, Харків.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ ПРИ ОХВАТЫВАЮЩЕМ РЕЗЬБОФРЕЗЕРОВАНИИ

О.Л. Кондратюк, Ю.И. Сычев, А.О. Скоркин

В статье описан метод нарезания резьбы при резьбофрезеровании. Приведены результаты расчета геометрической составляющей формирования резьбы при охватывающем резьбофрезеровании.

**Ключевые слова:** формирование резьбы, резьбофрезерование.

### RESEARCH OF EXACTNESS OF SCREW-THREAD AT WRAP-ROUND THREAD-ENCOMPASSING

O.L. Kondratyuk, Yu.I. Sychev, A.O. Skorkin

This paper describes a method of tapping with thread-encompassing. The results of the calculation of the geometric component of the formation of threads in thread-encompassing.

**Keywords:** forming of screw-thread, thread milling.