

УДК 621.914

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.Ю. Лосєв, к.т.н., проф.
О.В. Головатенко, асист.

Житомирський державний технологічний університет

ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ ТОРЦЕВОГО ІНСТРУМЕНТА З ПЛАНЕТАРНИМ РУХОМ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У статті розглянуто процес налагодження розробленої конструкції торцевого інструмента з кінематично перетвореним рухом формуютьючих елементів з визначенням теоретичних і експериментальних похибок відносно положення ріжучих елементів і їх вплив на вибір поздовжньої подачі.

Вступ. Налагодження відомих конструкцій збірних насадних регульованих фрез, що виготовляються згідно з ТУ2-035-918-81, ТУ2-035-713-80, ТУ2-035-757-80, а також інших спеціальних і стандартних конструкцій фрез, проводиться встановленими технічною документацією методами із забезпеченням торцевого биття формуютьючих елементів не більше 0,005 мм, що складається з торцевого биття корпусу фрези і різниці у вильотах формуютьючих елементів відносно базового торця.

Радіальне биття не регульоване і є результатом радіального биття шпинделя і точності виготовлення корпусу, елементів кріплення та формуютьючих елементів [1].

Налагодження торцевого інструмента з планетарним рухом формуютьючих елементів має певні особливості.

Основна частина. Як і в звичайних стандартних конструкціях торцевих фрез, перш за все, представляє велике значення стабільність вильоту формуютьючих різальних елементів відносно корпусу інструмента з врахуванням, в разі його однаковості для всіх шести фрез, торцевого биття шпинделя верстата.

На столі верстата мод. 6P12 була встановлена стійка з індикатором ІЧ5 з ціною поділки 0,002 мм і плоским наконечником (рис. 1).

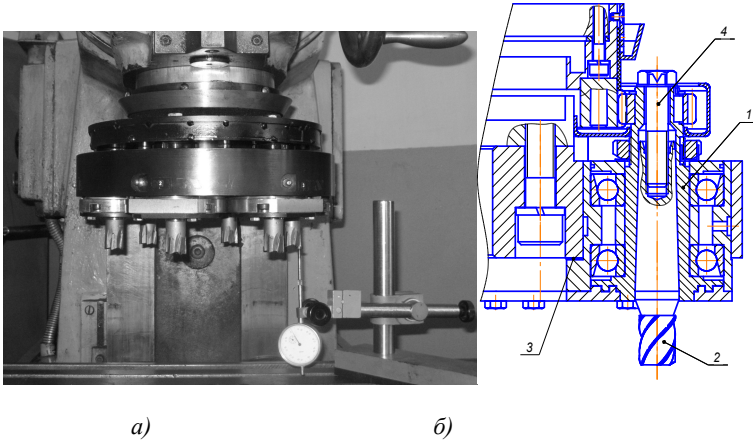


Рис. 1. Процес налагодження: а) фотографія процесу;
 б) регулювання вильоту формуючого елемента;
 1 – шпindel торцевого інструмента;
 2 – формуючий елемент; 3 – прокладка;
 4 – затискний болт

Закріплення формуючих елементів 2 в шпинделях 1 проводилось болтами 4 з базуванням по конічних поверхнях Морзе 3. У вигляді формуючих елементів були використані кінцеві фрези $\varnothing 25$ мм з напаяними пластинками T5K10.

Різні зусилля затягування болтів 4 призводили до суттєвої зміни вильотів (у межах 0,15...0,32 мм), що змусило застосовувати динамометричний ключ для забезпечення однакового моменту затягування болтів 4.

Зафіксувавши індикатором відносне положення кожної з шести фрез, і, прийнявши з них за “0” найвіддаленіше від столу, підшліфовкою прокладок (поз. 3, рис. 1, б) досягають однакового вильоту з полем розсіювання $\pm 0,005$ мм.

Другим важливим геометричним параметром є радіальне биття, яке складається з радіального биття шпинделя верстата, радіального биття кожного з шести шпинделів розробленого інструмента, різниці відстаней їх осей відносно осі обертання шпинделя верстата. Процес вимірювання радіального биття зображено на рис. 2.

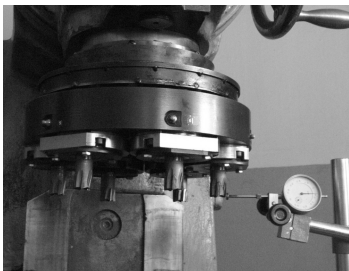


Рис. 2. Процес вимірювання радіального биття формуючих елементів

Як було доведено в роботі [1], при певних встановлених нормативами параметрів точності взаємного розташування формуючих елементів на торцевому інструменті та допустимому радіальному биттю шпинделя верстата, сумарне радіальне биття суттєво впливає на процес обробки в частині утворення поля розсіювання величини подачі на зуб. Але при значних подачах (що перевищують цю похибку на порядок) це не повинно призвести до суттєвих впливів на результати обробки.

Розглянемо схему утворення сумарного радіального биття і зміну подачі на кожний зуб розробленого торцевого інструмента.

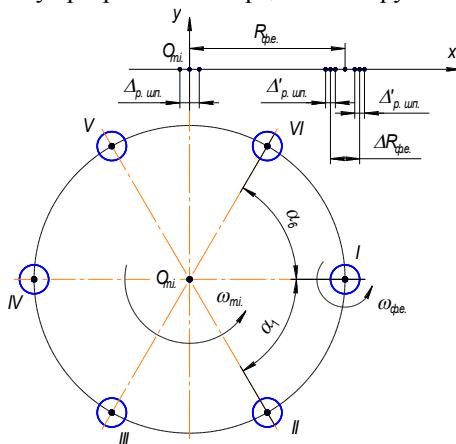


Рис. 3. Схема утворення радіального биття формуючих елементів і зміни подачі на зуб: $O_{m.i.}$ – теоретична вісь обертання торцевого інструмента; $\Delta_{р.шп.}$ – радіальне биття шпинделя; $R_{ф.е.}$ – теоретичний радіус розташування осей обертання формуючих елементів; $\Delta R_{ф.е.}$ – поле розсіювання положення осей формуючих елементів; $\Delta'_{р.шп.}$ – радіальне биття кожного з формуючих елементів
Сумарне биття згідно з наведеною схемою може бути визначено на базі комплексного аналізу залежних і незалежних допусків на

виготовлення і складання розробленого інструмента, а також його базування на шпинделі верстата з врахуванням його радіального биття.

Слід також виходити з технологічних можливостей виготовлення деталей розробленого торцевого інструмента, що впливають на шукану похибку, а саме:

- 1) З'єднання корпусу інструмента зі шпинделем:

$$\varnothing 128,57_{-0,02}^{+0,04} \text{ – стандартизовані розміри.}$$

Максимальне діаметральне поле допуску дорівнює:

$$T_{c\delta} = 0,04 - (-0,02) = 0,06 \text{ мм.}$$

Максимальне зміщення корпусу торцевого інструмента буде:

$$\frac{T_{c\delta}}{2} = 0,03 \text{ мм} = \pm 0,015 \text{ мм.}$$

2) Точність виготовлення в корпусі інструмента отворів під монтаж шпинделів формують елементів:

- розташування відносно базової поверхні $\varnothing 128,57^{+0,04}$ обумовлена кресленням і складає $\varnothing 223,54 \pm 0,02$ (на радіусі $116,77 \pm 0,01$);

- поле допуску на виготовлення отворів під фланці, в яких на підшипниках встановлені шпинделі формують елементів:

$$\varnothing 80H7\left(\begin{smallmatrix} +0,04 \\ 0 \end{smallmatrix}\right) / \varnothing 80Js7\left(\begin{smallmatrix} +0,0095 \\ -0,0095 \end{smallmatrix}\right).$$

3) Радіальне биття отворів під підшипники шпинделів формують елементів відносно базової поверхні фланців:

$$\delta_n = 0,01 \text{ мм.}$$

4) Радіальне биття підшипників шпинделів для підшипників другого класу точності 2 – 36207:

$$\Delta_{nida.} = 0,007 \text{ мм.}$$

5) Радіальне биття шийок шпинделя під підшипники відносно кінчної поверхні під закріплення формують елементи (фрези):

$$\Delta_{un.} = 0,005 \text{ мм.}$$

6) Радіальне биття ріжучих кромок формують елементів відносно базової кінчної поверхні:

- у разі застосування стандартизованих конструкцій кінцевих фрез з пластинами з твердих сплавів або надтвердих матеріалів радіальне биття не повинно перевищувати:

$$\Delta_{p.k.} = 0,02 \text{ мм.}$$

7) Радіальне биття шпинделя верстата мод. 6P12 складає 0,010 мм; верстата мод. ГФ2171С6 – 0,006 мм:

$$\Delta_{p.un.} = 0,006 \text{ мм.}$$

8) Поле розсіювання діаметрів формують елементів (кінцевих фрез) в разі виборки однієї партії поставок у відповідності

до вимог ГОСТ 20536 “Фрези кінцеві. Геометричні параметри” складає:

$$\Delta_{d \text{ ф.е.}} = 0,015 \text{ мм.}$$

9) Для повного врахування всіх похибок розташування і радіального биття формоутворюючих елементів слід враховувати непаралельність їх осей осі обертання торцевого інструмента (осі шпинделя верстата) на вильоті від торця корпусу. У розробленій конструкції вильот склав 40 мм.

Згідно з методичними вказівками “Ланцюги розмірні. Основні поняття. Методи розрахунку лінійних і кутових ланцюгів” РД 50 – 635 – 87 визначимо похибку відстаней від осі обертання інструмента до ріжучих кромок кожного з формоутворюючих елементів:

1. Номінальний розмір:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} \cdot A_i,$$

де $i = 1, 2 \dots m$ – порядковий номер ланки;

ξ_{A_i} – передаточне відношення i -ї ланки розмірного ланцюга. $\xi = 1$;

A_i – номінальні розміри ланок.

$$A_{\Delta} = \frac{233,54}{2} + \frac{25}{2} = 129,27 \text{ мм.}$$

2. Допуск на цей розмір при використанні методу «максимум-мінімум» буде дорівнювати:

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{j=1}^n \Delta \vec{A}_i - \sum_{j=1}^p \Delta \vec{A}_i;$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta \vec{A}_i = 0,03 + 0,02 + \frac{0,0395}{2} + \frac{0,01}{2} + \frac{0,007}{2} + \frac{0,005}{2} + \frac{0,02}{2} + \frac{0,006}{2} = 0,094 \text{ мм;}$$

$$\sum_{j=1}^p \Delta \vec{A}_i = -0,03 - 0,02 - \frac{0,0395}{2} - \frac{0,01}{2} - \frac{0,007}{2} - \frac{0,005}{2} - \frac{0,02}{2} - \frac{0,006}{2} = -0,094 \text{ мм;}$$

$$T_{A_{\Delta}} = 0,094 - (-0,094) = 0,188 \text{ мм.}$$

Отримуємо розмір $129,27 \pm 0,094$ мм.

Кутові похибки складових ланок (перекося осей) і вектори похибки (паралельне зміщення осей) сумується шляхом приведення

перекосів осей до векторного виду у площині замикаючої ланки (биття ріжучої частини) через передаточне відношення:

$$\bar{l}_{\Sigma(x)} = \frac{1}{K_{\Sigma(x)}} \sqrt{A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot l_i^2 + \sum_{X_i}^{n_{X_i}} A_{X_i}^2 \cdot K_{X_i}^2 \cdot l_i^2},$$

де $\bar{l}_{\Sigma(x)}$ – половина допустимої величини биття ріжучої частини як замикаючої ланки;

$K_{\Sigma(x)}$ – коефіцієнт відносного розсіювання замикаючої ланки;

$A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot l_i^2$ – прийнятий за скалярну величину найбільший добуток однієї з векторних величин l_i на свої передаточне відношення A_i і коефіцієнт відносного розсіювання K_i ;

K_{X_i} – приведений коефіцієнт відносного розсіювання, однаковий для всіх ланок з векторними похибками.

Характеристика замикаючої ланки $K_{\Sigma(x)}$ і $\alpha_{\Sigma(x)}$ підраховуються за формулами:

$$K_{\Sigma(x)} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n \bar{l}_i} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2 \cdot \bar{l}_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^n \bar{l}_i^2} \right),$$

$$\alpha_{\Sigma(x)} = \frac{0,59 \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \bar{l}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{l}_i},$$

де α – коефіцієнт відносної асиметрії кривої нормального розподілення;

Коефіцієнти K_i і α_i наведені в [2, 3].

Зовнішні поверхні шліфовані в центрах конуса Морзе $K_i = 1,17$; $\alpha_i = +0,15$.

Циліндричні шліфовані поверхні: $K_i = 1,08$; $\alpha_i = +0,12$.

Внутрішні шліфовані конуса Морзе: $K_i = 1,17$; $\alpha_i = -0,25$.

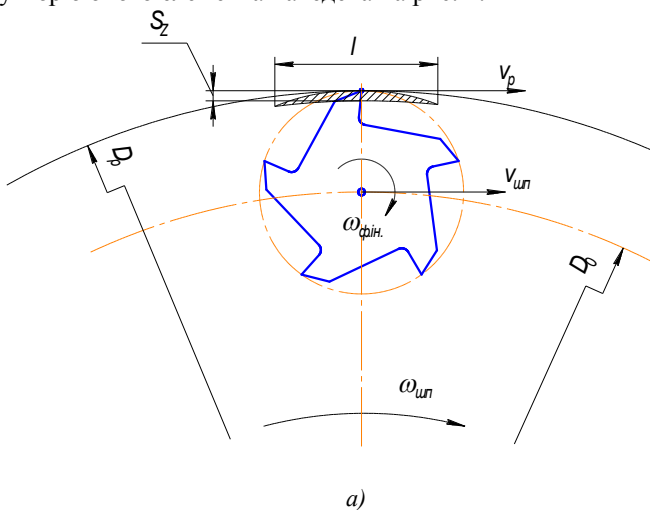
Циліндричні внутрішні: $K_i = 1,08$; $\alpha_i = -0,12$.

Нас більше цікавить не сам розмір (відстань до осі обертання), а похибка на нього.

Дані перевірки дослідного зразка торцевого інструмента з планетарним рухом формоутворюючих елементів (6-ти фрез):

Порядковий номер № фрез		I	II	III	IV	V	VI
Зміна відстані від осі, мм	Розрахунок	0,18					
	Експеримент	0	0,07	-0,12	0,09	0,02	-0,07

Схема видалення припуску на обробку кожним лезом формоутворюючого елемента наведена на рис. 4.



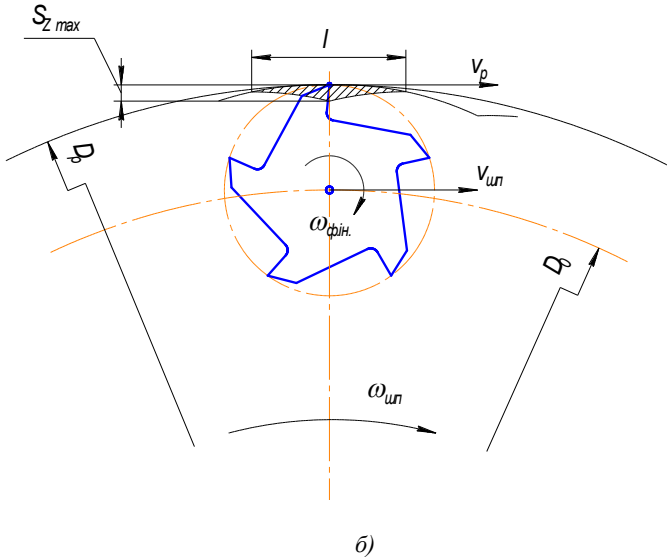


Рис. 4. Схеми видалення припуску розробленим торцевим інструментом.
 Максимальна товщина стружки:
 а) у довільному випадку; б) найбільша з можливих варіантів

В загальному вигляді подача на один ріжучий зуб формуючого елемента буде дорівнювати:

$$S_z = \frac{S_{об} \cdot k_z}{n_{\phi} \cdot z_{\phi} \cdot i_M}$$

де $S_{об}$ – подача на один оберт шпинделя верстата;

n_{ϕ} – кількість формуючих елементів. У розробленій конструкції $n_{\phi} = 6$;

z_{ϕ} – кількість ріжучих зубів формуючого елемента $z_{\phi} = 5$;

i_M – передаточне відношення значення приводу шпинделів формуючих елементів:

$$i_M = 5/1 = 5;$$

k_z – коефіцієнт, що залежить від ширини оброблюваної поверхні.

Аналізуючи отримані результати розрахунків і вимірів радіального биття формуючих елементів можливо зробити попередній висновок про те, що забезпечення стовідсоткової участі всіх ріжучих кромок у процесі видалення припуску на обробку можливе лише тоді,

коли подача на кожен з шести формуючих елементів (фрез) $S_{\phi.e}$ буде більша їх сумарного радіального биття, тобто $S_{\phi.e} \gg 0,12 + 0,09 = 0,21$ мм/об. Ми ж розраховуємо на подачу $S_{\phi.e} \geq 0,5$ мм за оберт торцевого інструменту або $S_{об} = S_{\phi.e} \cdot 6 = 0,5 \times 6 = 3$ мм/об.

Швидкість різання:

$$v_p = \frac{\pi \cdot n_{ун} \cdot (D_0 + d_{\phi.i} + d_{\phi.i} \cdot i_m)}{1000} = \frac{\pi \cdot n_{ун} \cdot [D_0 + d_{\phi.i} \cdot (1 + i_m)]}{1000} \text{ м/хв,}$$

де $n_{ун}$ – кількість обертів шпинделя верстата в хвилину;

D_0 – діаметр розташування формуючих елементів;

$d_{\phi.i}$ – діаметр формуючих елементів;

i_m – передаточне відношення зачеплення приводу шпинделів формуючих елементів.

Для зручності цю ж формулу можна виразити у такому вигляді:

$$v_p = \frac{\pi \cdot n_{ун}}{1000} \left[D_0 + d_{\phi.i} \left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \right) \right],$$

де Z_1 – кількість зубців нерухомого колеса;

Z_2 – кількість зубців шестерні приводу кожного з шести шпинделів формуючих елементів.

Зручність цієї залежності полягає в тому, що при розробці гами таких інструментів можливо, варіюючи кількістю зубців Z_1 і Z_2 досягати широкого діапазону швидкостей, використовуючи звичайні фрезерні і навіть шліфувальні верстати.

Для розробленого варіанта конструкції торцевого інструмента, наприклад, при $n_{ун} = 500$ об/хв.:

$$v_p = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot (233,536 + 25 + 25 \cdot 5)}{1000} = 602,15 \text{ м/хв.} = 10,04 \text{ м/с.}$$

Тобто, вже при 500 обертах шпинделя ми маємо можливість забезпечити швидкісне різання, застосувавши формуючі елементи з надтвердих матеріалів.

Висновки. Перші проведені випробування на верстаті мод. 6P12 підтвердили не тільки працездатність розробленої конструкції і її

надійність, але й зручність налагодження та безпеку в обслуговуванні. З метою забезпечення участі всіх формоутворюючих елементів у процесі видалення припуску на обробку необхідно призначити подачу на кожного з них більшу, ніж максимальне радіальне биття торцевого інструмента.

У наступних удосконалених конструкціях торцевого інструмента, працюючого за цією ж схемою обробки, передбачається зміна базової поверхні закріплення формоутворюючих елементів з мінімізацією впливу зусилля закріплення на їх виліт (центруюча поверхня і торець по типу рекомендованих міжнародними стандартами).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельничук П.П. Вплив точності розташування формоутворюючих елементів торцевої фрези на процес різання / П.П. Мельничук, В.Ю. Лосєв, О.В. Головатенко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2007. – № 1 (40). – С. 139–146.
2. Дунаєв П.Ф. Размерные цепи / П.Ф. Дунаєв. – М. : Машгиз, 1963.
3. Дунаєв П.Ф., Расчёты допусков размеров / П.Ф. Дунаєв, О.П. Леликов. – М. : Машиностроение, 1981.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

ЛОСЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування;
– комплексні та комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
– конструювання металообробних верстатів та інструментів.

ГОЛОВАТЕНКО Олег Володимирович – асистент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– обробка плоских переривчастих поверхонь.

Подано 17.09.2009