

УДК 612.914.22

**О.М. Герасимчук, к.т.н., доц.***Національний технічний університет України «КПІ»*

## **ВИХІДНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОВЕРХНІ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ**

*Визначено вихідну інструментальну поверхню торцевих фрез для оброблення фасонних поверхонь обертання на основі загальної теорії визначення таких поверхонь. Визначено допустимий радіус торцевої фасонної фрези для оброблення поверхонь обертання. Графічно визначено радіус торцевої фасонної фрези за допомогою способу відтворення вихідної інструментальної поверхні лінією і точкою.*

**Вступ.** У машинобудуванні використовуються різноманітні різальні інструменти, кількість типів яких весь час зростає. Відомо [1], що задану поверхню деталі можна обробити різними інструментами. Тому актуальним є завдання розроблення загальних теоретичних основ конструювання різальних інструментів для оброблення заданої поверхні, визначення методики та законів проектування різальної частини інструменту, від довершеності якої значною мірою залежить працездатність різальних інструментів.

Загальні закономірності проектування різальної частини інструментів було викладено в працях багатьох дослідників. Засновником розвитку розглянутого напрямку, а саме кінематики різання металів, є проф. д.т.н. Г.І. Грановський. Заслугує уваги запропонована ним класифікація схем різання [2] і результати досліджень нових способів оброблення металів різанням.

В області розроблення загальних основ проектування різальної частини інструментів відомі також роботи проф. С.С. Петрухіна «Основи проектування різальної частини металорізальних інструментів», проф. П.Р. Родіна «Основи теорії проектування різальних інструментів», проф. Є.Г. Коновалова «Основи нових способів металообробки», проф. Б.О. Перепелиці «Відображення афінного простору в теорії формоутворення поверхонь різанням» та ряд інших праць. Таким чином, вже досить повно розроблено наукові основи проектування різальних інструментів, призначених для оброблення заданої поверхні деталі. Показано, що задану поверхню

деталі можна обробити множиною різноманітних інструментів. Методика знаходження цієї множини розглядалась у ряді монографій.

Структурні моделі системи проектування різноманітних різальних інструментів для оброблення заданої поверхні деталі викладено, наприклад, в роботах: С.І. Лашнева, М.І. Юлікова «Проектування різальної частини інструменту із застосуванням ЕОМ»; Н.С. Равської, П.Р. Родіна «Основні положення теорії проектування множини інструментів для обробки заданої поверхні».

В процесі оброблення поверхня деталі  $D$  здійснює певні рухи відносно різального інструменту та займає ряд послідовних положень. Поверхню, дотичну до послідовних положень поверхні деталі, приймають за вихідну інструментальну поверхню ( $VIII$ ). Для того, щоб профілюючі ділянки різальних кромek інструменту формували оброблену поверхню, вони повинні розташовуватись на вихідній інструментальній поверхні. Тому різальний інструмент можна вважати тілом, обмеженим вихідною інструментальною поверхнею, якій надана можливість зрізати в процесі оброблення матеріал деталі. Проектування різальних інструментів, призначених для оброблення заданої поверхні деталі, включає два етапи:

1. Визначення вихідної інструментальної поверхні, спряженої з поверхнею деталі, за вибраної схеми формоутворення.

2. Перетворення тіла, обмеженого вихідною інструментальною поверхнею, в працездатний різальний інструмент.

На рисунку 1 показано структурну схему визначення вихідної інструментальної поверхні, спряженої з поверхнею деталі, стосовно фасонних торцевих фрез. Розглядається схема формоутворення, що відповідає фрезеруванню торцевими фасонними фрезами, коли рух поверхні деталі відносно осі інструменту є обертанням навколо осі інструменту (позиція 1, рис. 1). В цьому випадку характеристикою, або лінією контакту спряжених поверхонь, буде ортогональна проекція осі інструменту на поверхню деталі. Форма характеристики в процесі обробки не змінюється. Тому за такої схеми формоутворення можна обробити тільки поверхні, що допускають ковзання «самі по собі». До таких поверхонь належать: фасонні циліндричні, гвинтові постійного руху і поверхні обертання.

Фасонні циліндричні поверхні ковзають «самі по собі» під час прямолінійно-поступального руху зі швидкістю, паралельною до твірних цієї поверхні. Поверхні обертання ковзають «самі по собі» під час обертання навколо своєї осі. Гвинтові поверхні постійного кроку

ковзають «самі по собі» під час гвинтового руху, параметр якого дорівнює параметру гвинтової поверхні, а вісь якого співпадає з вісю цієї поверхні.

1. Аналіз схеми формоутворення, що відповідає торцевому фрезеруванню, коли рух поверхні деталі відносно інструменту буде обертанням навколо осі інструменту
2. Утворення множини вихідних інструментальних поверхонь, що огинає поверхню деталі, шляхом зміни положення осі інструменту відносно поверхні деталі
3. Аналіз умов формоутворення. Вибір вихідних інструментальних поверхонь, що забезпечують оброблення поверхні деталі у відповідності до технічних вимог

*Рис. 1. Структурна схема визначення вихідних інструментальних поверхонь, спряжених із поверхнею деталі*

Вихідна інструментальна поверхня, в розглянутому випадку, є поверхнею обертання характеристики навколо осі інструменту.

За такої схеми формоутворення змінним параметром є положення осі інструменту відносно поверхні деталі. За рахунок зміни положення осі інструменту відносно поверхні деталі створюються різні вихідні інструментальні поверхні, що спряжені із заданою поверхнею деталі (позиція 2, рис. 1).

Відомо, що для оброблення заданої поверхні деталі за кресленням, необхідно виконання умов формоутворення. Тому, визначаючи вихідні інструментальні поверхні, необхідно аналізувати виконання умов формоутворення (позиція 3, рис. 1) і відбирати для подальшого доопрацювання можливі вихідні інструментальні поверхні, що забезпечують оброблення поверхні деталі у відповідності до технічних умов на її виготовлення.

**Метою** даного дослідження є аналіз формоутворення фасонних поверхонь обертання під час оброблення торцевими фрезами та визначення допустимого радіуса торцевої фрези для оброблення заданої фасонної поверхні.

#### **Оброблення фасонних поверхонь обертання**

Кінематична схема оброблення торцевими фрезами поверхонь обертання складається з обертання фрези навколо своєї осі (головний

рух різання) та обертання оброблюваної деталі навколо її осі (рух подачі) (рис. 2).

Вісь фрези та деталі перетинаються і взаємно перпендикулярні. Вихідною інструментальною поверхнею є огинаюча поверхні деталі  $D$  під час її обертання навколо осі інструменту. Лінією контакту спряжених поверхонь за властивістю спільних нормалей є лінія  $AB$  (рис. 2), що є лінією перетину поверхні деталі з площиною  $I-I$ . Площина  $I-I$  – це площина, в якій розташовані осі деталі та фрези. В точках лінії  $AB$  нормалі до поверхні деталі перетинають вісь інструменту  $O$ . В результаті обертання характеристики  $AB$  навколо осі фрези  $O$  створюється вихідна інструментальна поверхня обертання ВІП, спряжена з поверхнею обертання деталі. В цьому випадку профіль вихідної інструментальної поверхні співпадає з профілем поверхні обертання деталі  $D$ . Також спостерігається зовнішнє стикання вихідної інструментальної поверхні і поверхні обертання деталі. Умови формоутворення виконуються і оброблення заданої поверхні обертання деталі забезпечується без відхилень від креслення. Розміри діаметра фрези можуть вибиратись незалежно від умов формоутворення будь-якої величини. Інша ситуація складається, коли обробляються поверхні обертання, у яких на профілі змінюється знак кута нахилу дотичної до профілю. Прикладом таких деталей є шків (рис. 3).

Оброблення шківів може здійснюватись, коли осі фрези і деталі перетинаються та взаємно перпендикулярні (рис. 3, *a*), або коли вісь інструменту нахилена до осі деталі (рис. 3, *b*).

Розглянемо приклад оброблення шківів, коли осі інструменту та деталі перетинаються і є взаємно перпендикулярними (рис. 3, *a*). Характеристикою у цьому випадку буде лінія  $ABCE$ , так як нормалі до поверхні шківів в усіх точках цієї лінії перетинають вісь інструменту. Обертаючись навколо осі фрези, характеристика  $ABCE$  описує вихідну інструментальну поверхню, спряжену з поверхнею шківів. На ділянці характеристики  $CE$  в січних площинах перпендикулярних до осі фрези спостерігається контакт опуклого профілю вихідної інструментальної поверхні та опуклого профілю поверхні деталі. Тому, при будь-яких радіусах кривизни спряжених профілів забезпечується правильне оброблення відповідної ділянки поверхні деталі й за будь-якого радіуса фрези  $R$ .

На ділянці характеристики  $AB$ , у перетинах перпендикулярних до осі фрези, спостерігається контакт опуклого профілю деталі та увігнутого профілю вихідної інструментальної поверхні. В цьому випадку, для того, щоб не було проникнення спряжених профілів необхідно, щоб радіус кривизни увігнутого профілю інструменту був

більшим, ніж радіус кривизни опуклого профілю деталі. Тому обирати довільно радіус фрези  $R$  не можна, його необхідно визначати.

Визначимо допустимий радіус  $R$  торцевої фасонної фрези для оброблення поверхні обертання, виходячи з другої умови формоутворення, для загального випадку, коли кут між віссю фрези та віссю деталі дорівнює  $\delta$  (рис. 4). Розглянемо на профілі деталі  $AB$  довільну точку  $L$ , радіус якої дорівнює  $r_i$ . Кут нахилу профілю  $AB$  до осі деталі позначимо через  $\varphi$ . В перетині III–III перпендикулярному до осі деталі радіус кривизни профілю деталі дорівнює  $r_i$ . За теоремою Менґе, радіус кривизни  $r_N$  в нормальному перетині визначається, як:

$$r_N = \frac{r_i}{\cos \varphi}. \quad (1)$$

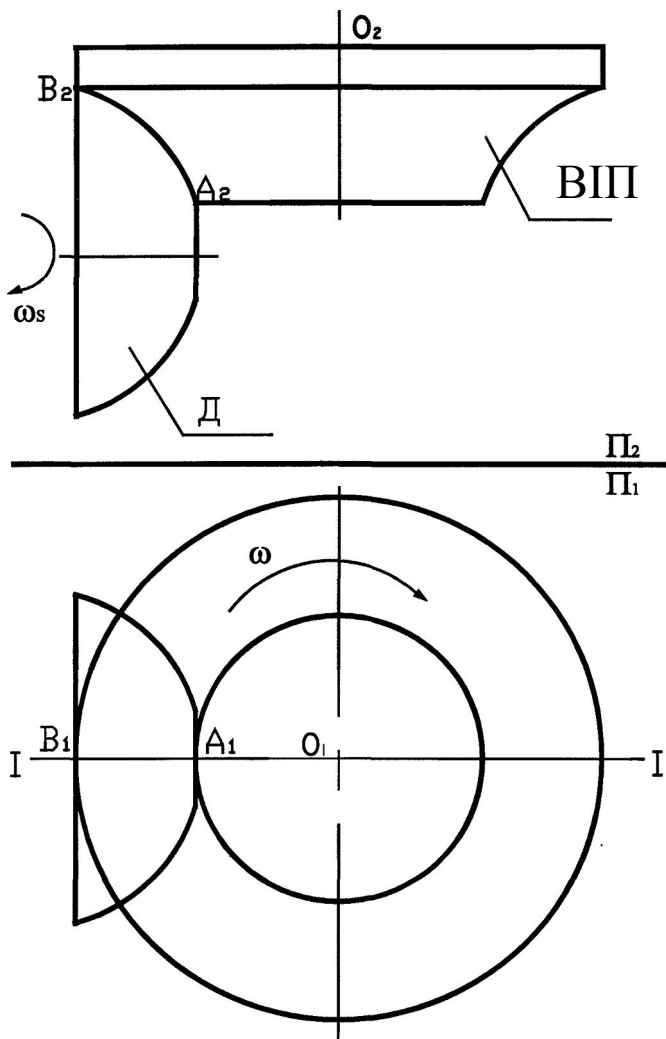


Рис. 2. Кінематична схема оброблення торцевими фрезами поверхонь обертання

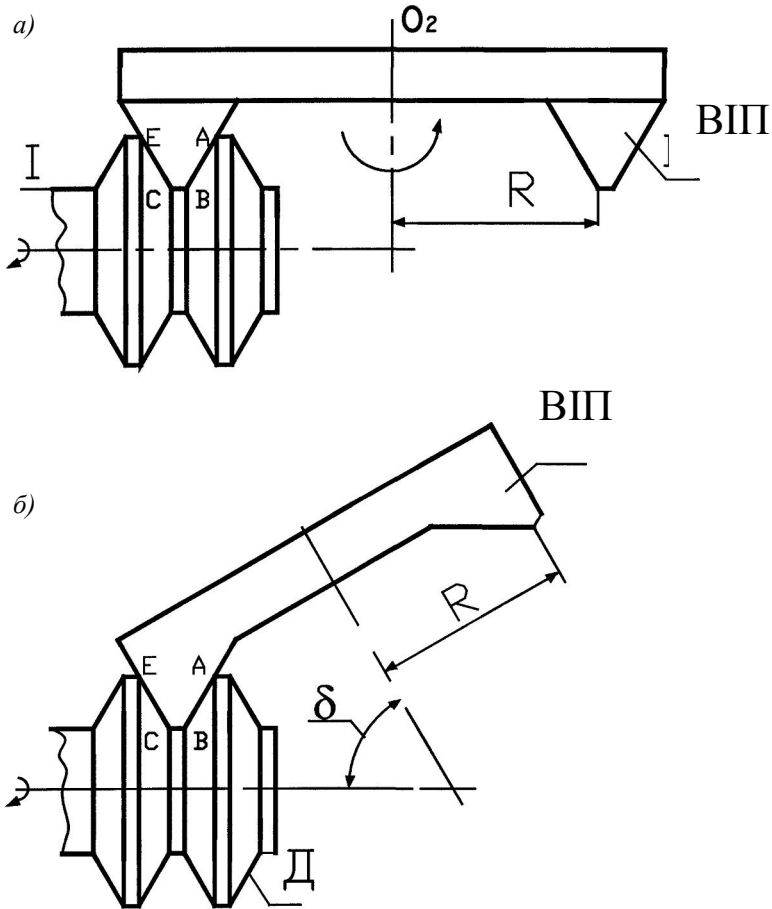


Рис. 3. Оброблення торцевими фрезами деталей типу «шків»

Визначимо радіус кривизни профілю вихідної інструментальної поверхні в тому ж нормальному перетині. Проведемо через точку  $L$  перетин II-II, перпендикулярний до осі фрези. Цей перетин перетинається з вихідною інструментальною поверхнею по колу, радіус якого позначимо через  $R$ . У перетині II-II радіус кривизни профілю вихідної інструментальної поверхні дорівнює  $R$ . За побудовою кут між перетинами II-II та N-N дорівнює  $180^\circ - (\varphi + \delta)$ . Тому:

$$R_N = \frac{R}{-\cos(\varphi + \delta)}. \quad (2)$$

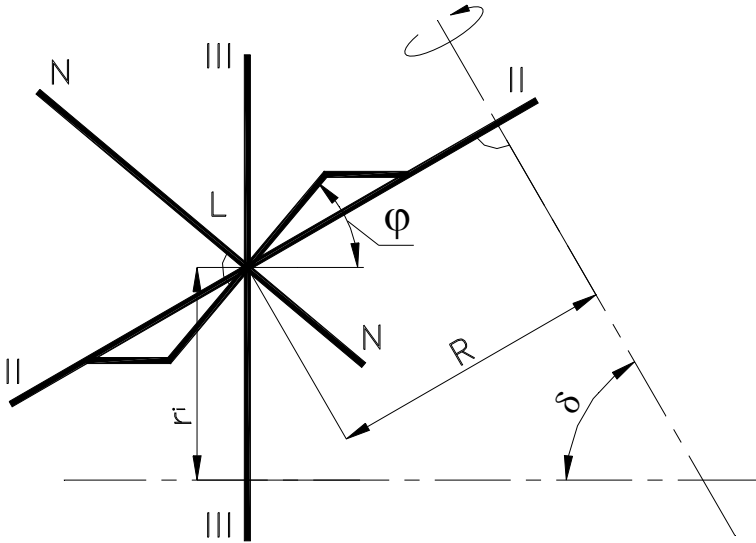


Рис. 4. Визначення допустимого радіусу торцевої фрези для оброблення поверхні обертання

Для того, щоб не було проникнення спряжених профілів, необхідно, щоб радіус кривизни увігнутого профілю  $R_N$  дорівнював або був більшим ніж радіус кривизни  $r_N$  опуклого профілю. Звідси:

$$\frac{R}{-\cos(\varphi + \delta)} \geq \frac{r_i}{\cos \varphi}. \quad (3)$$

Тоді:

$$R \geq \frac{-r_i \cos(\varphi + \delta)}{\cos \varphi}. \quad (4)$$

За цією формулою визначається радіус торцевої фрези  $R$ , розглядаючи найнебезпечнішу, з точки зору проникнення спряжених профілів, точку на профілі заданої поверхні деталі. Коли  $\delta = 90^\circ$ , маємо:

$$R = r_i \operatorname{tg} \varphi. \quad (5)$$

Аналіз отриманих залежностей, показує, що нахил осі фрези, по відношенню до осі деталі, дозволяє вибирати зменшені величини



радіуса фрези, порівняно з обробленням, коли осі фрези та оброблюваної деталі взаємно перпендикулярні.

Під час проектування фасонних торцевих фрез вихідну інструментальну поверхню обертання можна відтворити не тільки однією або сукупністю ліній, розташованих на вихідній інструментальній поверхні, прийнявши за ці лінії різальні кромки інструменту. Вихідна інструментальна поверхня може бути також відтворена точкою або сукупністю точок, нарешті, різні ділянки вихідної інструментальної поверхні можуть бути відтворені різними способами.

У випадку, якщо, оброблюючи деталі типу «шків», одну ділянку вихідної інструментальної поверхні відтворювати лінією, а іншу – точкою, можна створювати (з метою покращання процесу стружкоутворення) торцеві фрези, що дозволять перейти від П-подібного перетину зрізу до Г-подібного.

На рисунку 5 зображено схему торцевого фрезерування деталей типу «шків». Головним рухом різання є обертання торцевої фрези навколо своєї осі. Подача здійснюється під час обертання заготовки навколо її осі. Осі заготовки та торцевої фрези перетинаються. Обертаючись навколо осі фрези, профіль поверхні шківа описує початкову інструментальну поверхню, що стикається з поверхнею деталі по лінії  $ABCE$ . Торцева фреза, що буде спроектована базуючись на такій початковій інструментальній поверхні, під час оброблення деталі буде створювати П-подібний перетин зрізу. Для того, щоб перейти до Г-подібного перетину зрізу визначимо лінію  $LBP$  перетину бічної поверхні шківа  $AB$  з площиною  $N$ , що перпендикулярна до осі фрези. Конічна поверхня з профілем  $AB$  перетинається з площиною  $N$  по гіперболі (точки  $L, B, P$  належать цій гіперболі). З технологічних міркувань, лінію  $LBP$  замінюють дугою кола та визначають його радіус, який і буде радіусом фрези в цій точці, –  $R_{\phi}$ .

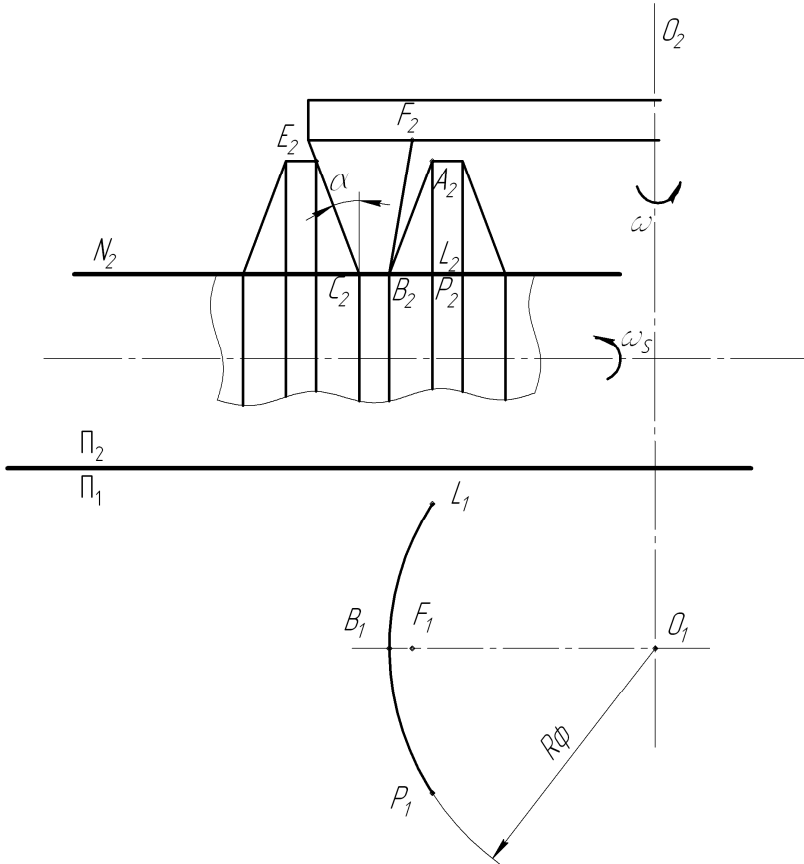


Рис. 5. Визначення радіуса торцевої фрези за способу відтворення вихідної інструментальної поверхні лінією та точкою

Дуга кола з радіусом  $R_{\phi}$ , обертаючись навколо осі заготовки, описує бічну поверхню шків. Ця дуга відтворюється однією точкою  $B$  різальної кромки фрези. Для того, щоб різальна кромка не зрізала профіль  $AB$ , профіль реальної бічної різальної кромки  $BF$  виконують зі зменшеним кутом, порівняно з кутом  $\alpha$  профілю деталі.

**Висновки:**

1. Торцевими фрезами можна обробляти фасонні поверхні обертання як з постійним, так і зі змінними кутами нахилу дотичної до поверхні деталі.

2. Визначений допустимий радіус торцевої фрези для оброблення поверхні обертання зі змінним кутом нахилу дотичної до профілю деталі дозволяє обробляти деталь без підрізання.

3. Нахил осі фрези відносно осі деталі дозволяє обирати зменшені радіуси фрези.

4. Спосіб оброблення деталей типу «шків», вихідна інструментальна поверхня яких відтворюється лінією та точкою, дозволяє підвищити продуктивність оброблення таких поверхонь за рахунок Г-подібного перетину зрізу.

5. Визначена вихідна інструментальна поверхня для оброблення фасонних поверхонь обертання дозволяє розширити область застосування торцевого фрезерування.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Родін П.Р.* Основы проектирования режущих инструментов / *П.Р. Родін.* – К. : Вища школа, 1990. – 423 с.
2. *Грановский Г.И.* Кинематика резания / *Г.И. Грановский.* – М. : Машгиз, 1948. – 200 с.
3. *Равська Н.С.* Основні положення теорії проектування множини інструментів для обробки заданої поверхні / *Н.С. Равська, П.Р. Родін* // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2001. – С. 262–265.
4. *Равська Н.С.* Основи формування поверхонь при механічній обробці / *Н.С. Равська, П.Р. Родін, Т.П. Ніколаєнко, П.П. Мельничук.* – 2000. – 163 с.
5. *Мардамян М.Е.* Скоростное фрезерование цилиндрических и винтовых поверхностей торцевыми фрезами / *М.Е. Мардамян, Г.Н. Мецержаков, П.Р. Родін* // Вестник технической информации, Минстанкопром. –1952. – № 4.

ГЕРАСИМЧУК Олена Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– теорія проектування торцевих фрез;

– фасонне фрезерування.

Тел.: (044) 454–95–28.

E-mail: [elena.gerasymchuk@gmail.com](mailto:elena.gerasymchuk@gmail.com).

Подано 01.09.2010