

УДК 621.914.2

Н.С. Равська, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"
Н.О. Нощенко, аспір.
Житомирський державний технологічний університет

ГЕОМЕТРИЯ ДИСКОВИХ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ

Досліджено особливості конструкції дискових фрез із зубцями, що чергуються. Графічно розв'язана задача та виведені аналітичні залежності для розрахунку статичних геометричних параметрів дискових відрізних фрез для загального випадку розміщення передньої і задньої поверхонь. Виведені аналітичні залежності для визначення товщини зрізу в досліджуваній точці різальної кромки в різні моменти часу при обертанні дискової фрези навколо своєї осі.

Вступ. Дискові відрізні фрези працюють в тяжких умовах. При відрізці заготовок відбувається інтенсивний знос різальних кромки при вершинах, в ряді випадків відбувається заклинювання зубців, мають місце несприятливі умови стружкоутворення [4].

Великий вплив на працездатність фрез здійснює схема зрізання припуску [2]. З метою підвищення стійкості фрез використовують різноманітні схеми зрізання припуску. Однак у таких фрез величини геометричних параметрів їх різальної частини не досліджені різнобічно. Тому в даній статті розглядається задача визначення геометричних параметрів різальної частини при найбільш загальній схемі зрізання припуску відрізними дисковими фрезами з зубцями, що чергуються, різної форми і розташуванням різальних кромки на суміжних зубцях.

Особливості конструкції фрез із зубцями, які чергуються. На рис. 1 наведена форма різальної частини фрези з різними кромками. Головними різальними кромками є кромки AB , допоміжними – кромки BC [3].

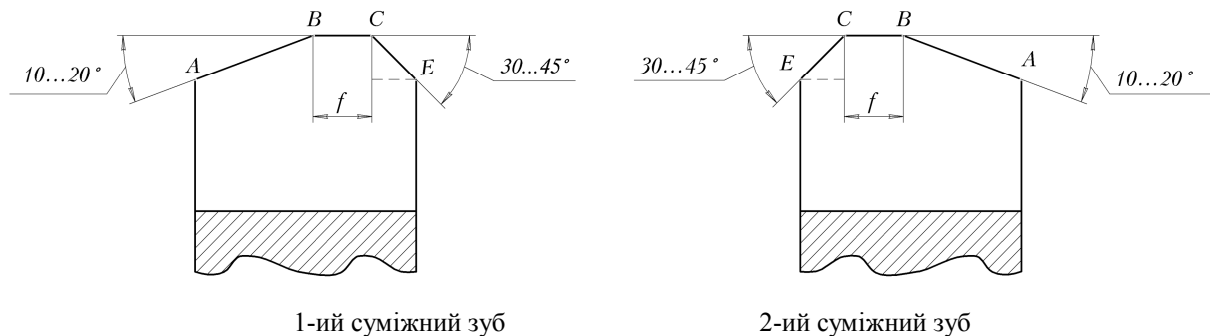


Рис. 1. Форми кромки різальної частини фрез

Особливості конструкції фрез з такою формою і розташуванням зубців полягають в тому, що кромки CE не є різальними і вони можуть бути виготовлені у вигляді уступів (на рис. 1 показано штриховою лінією). Головними є кромки AB , оскільки вони нахилені під кутом відносно осі фрези. Виникає задача визначення геометричних параметрів різальної частини фрези в області кромки AB .

Геометричні параметри різальної частини дискової фрези. Розглянемо фрезу (рис. 2) з плоскою передньою поверхнею, розташування якої характеризується інструментальним переднім кутом γ_n , вимірним в перерізі, перпендикулярному осі фрези [8]. Прийmemo задню поверхню у формі площини, положення якої характеризується прямою AE , що лежить в площині, перпендикулярній осі фрези, і прямою AC , яка лежить в осевій площині [6]. Пряма AE проходить під інструментальним кутом α_n , а пряма AC – під обраним кутом φ_n . Різальна кромка визначається як лінія перетину передньої і задньої площин [1]. Розглянемо переріз I , паралельний площині P_2 . Даний переріз перетинається з прямою AE в точці M . Переріз I перетинається із задньою площиною по прямій MB , яка проходить паралельно прямій AC . Переріз I з передньою площиною перетинається по прямій BP . Таким чином, точка B буде точкою різальної кромки AB .

Положення різальної кромки AB характеризується інструментальним переднім кутом γ_n та кутом φ_i , вимірними в проекції на площину P_2 , яка проходить паралельно статичній основній площині P_{vc} [5].

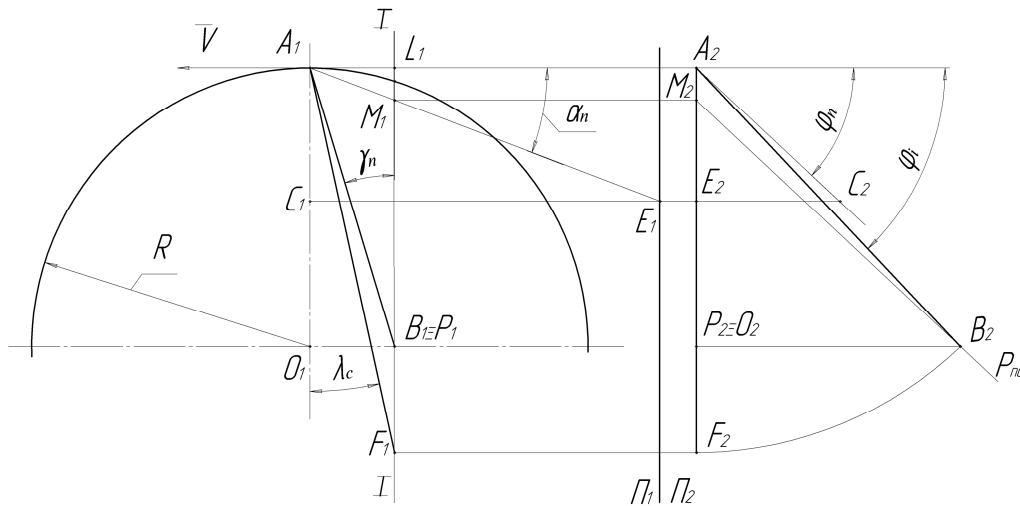


Рис. 2. Визначення статичного кута нахилу різальної кромки

Розглядаючи графічне рішення, будемо мати:

$$A_1L_1 = Rtg\gamma_n ; \tag{1}$$

$$A_2M_2 = A_1L_1tg\alpha_n = Rtg\gamma_n tg\alpha_n ; \tag{2}$$

$$M_2P_2 = A_2P_2 - A_2M_2 = R - Rtg\gamma_n tg\alpha_n ; \tag{3}$$

$$P_2B_2 = M_2P_2ctg\varphi_n = ctg\varphi_n (1 - tg\gamma_n tg\alpha_n) R ; \tag{4}$$

$$tg\varphi_i = \frac{A_2P_2}{P_2B_2} = \frac{R}{ctg\varphi_n (1 - tg\gamma_n tg\alpha_n) R} = \frac{tg\varphi_n}{1 - tg\gamma_n tg\alpha_n} . \tag{5}$$

Визначимо статичний кут нахилу різальної кромки в точці А.

У випадку, що розглядається, швидкість \vec{V} головного руху різання проходить перпендикулярно до площини Π_2 [7]. Повернемо різальну кромку AB навколо вектора швидкості \vec{V} до положення, паралельного площині Π_1 . Нове повернуте положення різальної кромки буде AF . За визначенням кут між перпендикуляром AO до швидкості різання \vec{V} і повернутою різальною кромкою AF буде статичним кутом λ_c нахилу різальної кромки в точці А.

Таким чином,

$$tg\lambda_c = \frac{A_1L_1}{A_1F_1} ; \tag{6}$$

$$A_1F_1 = A_2B_2 = \frac{R}{\sin\varphi_i} . \tag{7}$$

Тоді

$$tg\lambda_c = tg\gamma_n \sin\varphi_i . \tag{8}$$

При $\varphi_{n=0}$, $\varphi_i = 0$, $tg\lambda_c = 0$, тобто $\lambda_c = 0$.

Визначення статичного переднього кута. Визначення статичного переднього кута в області різальної кромки AB наведено на рис. 3. Відповідно до визначення кут між нормаллю до статичної площини різання і нормаллю до передньої поверхні леза рівний $90-\lambda_N$ [1]. Нормаллю до статичної площини різання в досліджуваній точці А буде пряма AB . Нормаллю до передньої поверхні буде пряма AC . Положення прямої AB в системі площин проєкцій Π_1/Π_2 характеризується величиною кута φ_i . Положення прямої AC в системі площин проєкцій визначається інструментальним переднім кутом γ_n .

Вводиться система площин проєкцій Π_3/Π_2 . Площина Π_3 проводиться перпендикулярно до нормалі AB . За правилом заміни площин проєкцій визначаються проєкції A_3B_3 і A_3C_3 нормалей, що розглядаються, на площині Π_3 . Вводиться система площин проєкцій Π_4/Π_3 . Площина Π_4 проводиться паралельно нормалі AB і нормалі AC . За правилом заміни площин проєкцій знаходимо проєкції A_4B_4 і A_4C_4 нормалей на площину Π_4 . Кут між прямими A_4B_4 і A_4C_4 буде $90-\lambda_N$.

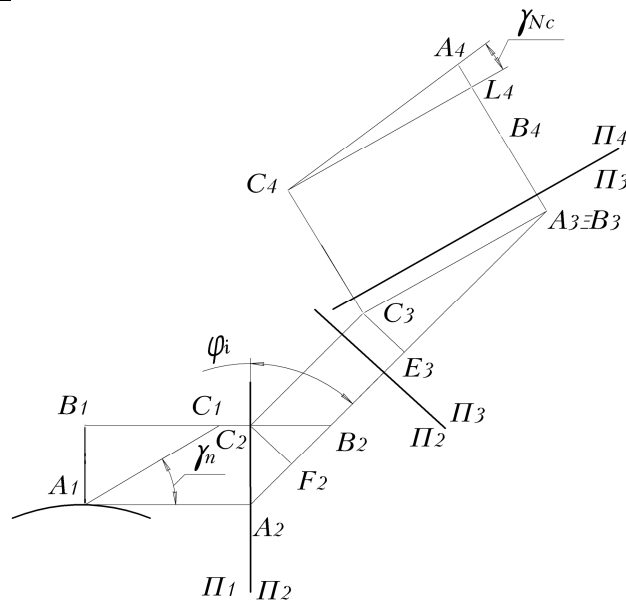


Рис. 3. Визначення статичного нормального переднього кута

Розглядаючи графічне рішення, знайдемо аналітичне визначення λ_{NC} .

$$A_1C_1 = A_1B_1 \operatorname{ctg} \gamma_n; \tag{9}$$

$$B_2C_2 = A_1B_1 \operatorname{tg} \varphi_i; \tag{10}$$

$$A_2F_2 = A_4L_4 = A_1B_1 \cos \varphi_i; \tag{11}$$

$$C_3E_3 = C_2F_2 = A_1B_1 \sin \varphi_i; \tag{12}$$

$$A_3E_3 = B_1C_1 = A_1B_1 \operatorname{ctg} \gamma_n; \tag{13}$$

$$A_3C_3 = \sqrt{C_3E_3^2 - A_3E_3^2} = A_1B_1 \sqrt{\sin^2 \varphi_i + \operatorname{ctg}^2 \gamma_n}; \tag{14}$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nc} = \frac{A_4L_4}{C_4L_3} = \frac{A_1B_1 \cos \varphi_i}{A_1B_1 \sqrt{\sin^2 \varphi_i + \operatorname{ctg}^2 \gamma_n}}. \tag{15}$$

Таким чином, статичний кут γ_{Nc} в нормальному до різальної кромки перерізі в досліджуваній точці буде дорівнювати:

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nc} = \frac{\cos \varphi_i}{A_1B_1 \sqrt{\sin^2 \varphi_i + \operatorname{ctg}^2 \gamma_n}}. \tag{16}$$

При φ_{i0} , $\varphi_i = 0$, $\operatorname{tg} \lambda_{Nc} = \frac{1}{\operatorname{ctg} \gamma_n}$, тобто $\lambda_{Nc} = \gamma_n$.

Визначення статичного нормального заднього кута. Визначення статичного заднього кута α_{Nc} в нормальному до різальної кромки перерізі в досліджуваній точці різальної кромки наведено на рис. 4. За визначенням кут між нормаллю до статичної поверхні різання і нормаллю до задньої поверхні дорівнює α_{Nc} . Нормаллю до статичної поверхні різання в досліджуваній точці A буде пряма AB . Нормаллю до задньої поверхні буде пряма AE . В системі площин проєкцій Π_1/Π_2 положення прямої AB визначається кутом φ_i , а положення AE – інструментальним заднім кутом α_n та інструментальним кутом φ_n [1].

Вводиться система площин проєкцій Π_3/Π_2 . Площина Π_3 проводиться перпендикулярно нормалі AB . За правилом заміни площин проєкцій визначаються проєкції A_3B_3 і A_3E_3 досліджуваних нормалей на площину Π_3 . Вводиться система площин проєкцій Π_3/Π_4 . Площина Π_4 проводиться паралельно нормалі AB і нормалі AE . За правилом заміни площин проєкцій знаходимо проєкції A_4B_4 і A_4E_4 нормалей на площину Π_4 . Кут між прямими A_4B_4 і A_4E_4 буде статичним заднім кутом α_{Nc} в нормальному до різальної кромки перерізі.

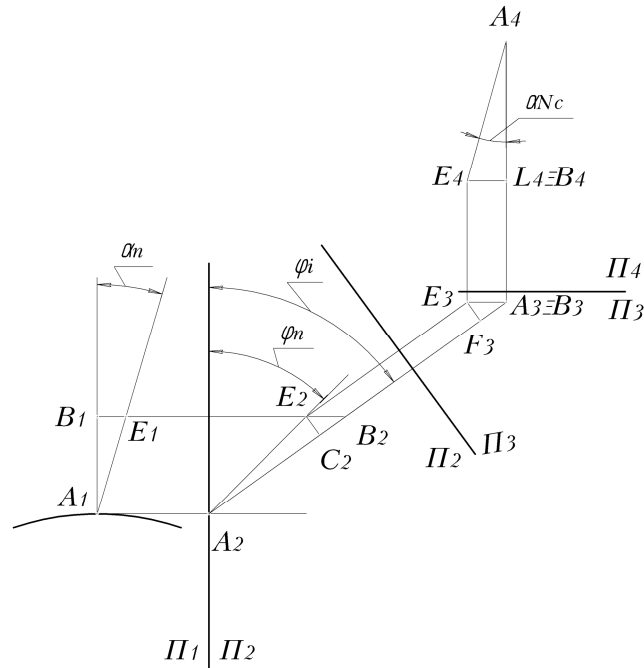


Рис. 4. Визначення статичного нормального заднього кута

Розглядаючи графічне рішення, запишемо аналітичну залежність для визначення α_{Nc} :

$$B_1E_1 = A_1B_1 \operatorname{tg} \alpha_n = A_3F_3 ; \tag{17}$$

$$A_2E_2 = \frac{A_1B_1}{\cos \varphi_n} ; \tag{18}$$

$$A_2C_2 = A_2E_2 \cos(\varphi_i - \varphi_n) = \frac{A_1B_1 \cos(\varphi_i - \varphi_n)}{\cos \varphi_n} = A_4L_4 ; \tag{19}$$

$$E_2C_2 = A_2E_2 \sin(\varphi_i - \varphi_n) = \frac{A_1B_1 \sin(\varphi_i - \varphi_n)}{\cos \varphi_n} = E_3F_3 ; \tag{20}$$

$$A_3E_3 = \sqrt{E_3F_3^2 + A_3F_3^2} = \sqrt{\frac{A_1B_1^2 \sin^2(\varphi_i - \varphi_n)}{\cos^2 \varphi_n} + A_1B_1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_n} = L_4E_4 ; \tag{21}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{Nc} = \frac{L_4E_4}{A_4L_4} = \frac{A_1B_1 \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n + \frac{\sin^2(\varphi_i - \varphi_n)}{\cos^2 \varphi_n}}}{A_1B_1 \frac{\cos(\varphi_i - \varphi_n)}{\cos \varphi_n}} . \tag{22}$$

Перетворюючи вираз, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \alpha_{Nc} = \frac{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n \cos^2 \varphi_n + \sin^2(\varphi_i - \varphi_n)}}{\cos(\varphi_i - \varphi_n)} . \tag{23}$$

При $\varphi_{n=0}$ будемо мати $\varphi_i = 0$, $\operatorname{tg} \lambda_{Nc} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n}$, тобто $\lambda_{Nc} = \gamma_n$.

Визначення статичного кута в плані і товщини зрізу. Статичний кут в плані φ_c визначають в статичній основній площині між статичною площиною різання P_{nc} і робочою площиною P_s [1].

Робоча площина P_s – це площина, в якій розміщені напрямки швидкості головного руху різання і руху подачі. В досліджуваному випадку (рис. 2) робоча площина P_s при всіх кутах повороту фрези навколо її осі буде паралеллю площини проєкцій Π_1 . Тому кут між площиною Π_1 і статичною площиною різання P_{nc} буде статичним кутом в плані рівним:

$$\varphi_c = 90 - \varphi_i, \text{ тобто } \operatorname{tg}\varphi_c = \frac{1 - \operatorname{tg}\operatorname{tg}\alpha_n}{\operatorname{tg}\varphi_n}.$$

Визначимо товщину зрізу в довільному положенні зуба фрези (рис. 5). Кут повороту досліджуваної точки A навколо осі фрези приймемо рівним η . В процесі обробки кут η змінює своє значення. Товщина зрізу a в точці різальної кромки, що розглядається, є відстанню від поверхні різання до зовнішньої поверхні зрізаного шару матеріалу заготовки в досліджуваний момент часу [5].

Наближено товщина зрізу a у різних різальних інструментів визначається по відомій залежності [4]:

$$a = \frac{(\bar{N} \cdot \bar{S})}{|\bar{N}|}, \tag{24}$$

де \bar{N} – вектор нормалі до поверхні різання; \bar{S} – вектор подачі, рівний подачі на зуб \bar{S}_z .

В системі координат XYZ вектор нормалі \bar{N} , який проходить по лінії AD , буде дорівнювати

$$\bar{N} = \bar{j} + \operatorname{ktg}\varphi_i. \tag{25}$$

Вектор подачі \bar{S}_z буде:

$$\bar{S}_z = -\bar{i}S_z \sin \eta + \bar{j}S_z \cos \eta. \tag{26}$$

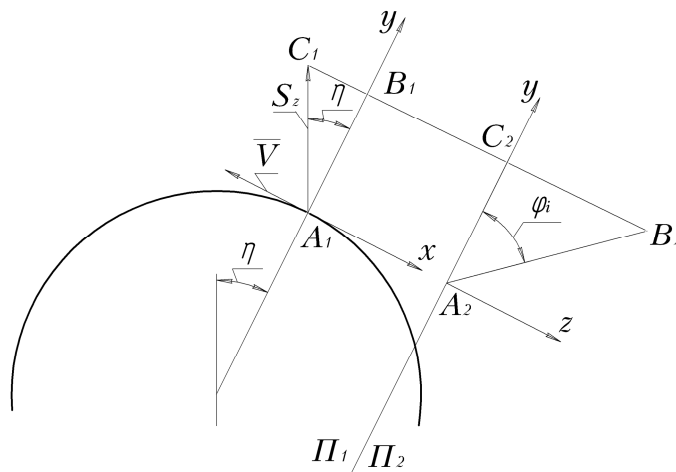


Рис. 5. Визначення товщини зрізу

Скалярний добуток векторів \bar{N} і \bar{S} дорівнює:

$$(\bar{N} \cdot \bar{S}) = S_z \cos \eta. \tag{27}$$

Модуль векторів:

$$|\bar{N}| = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_i} = \frac{1}{\cos \varphi_i}. \tag{28}$$

Звідси

$$a = S_z \cos \eta \cos \varphi_i. \tag{29}$$

При $\eta = 0$ $a = S_z \cos \varphi_i$, при $\eta = 0$ і $\varphi_i = 0$ $a = S_z$.

Висновки. Графічно розв’язана задача та виведені аналітичні залежності для розрахунку статичних геометричних параметрів дискових відрізних фрез для загального випадку розміщення передньої та задньої площин. Виведена аналітична залежність визначення товщини зрізу в досліджуваній точці різальної кромки в різні моменти часу при обертанні фрези навколо осі.

ЛІТЕРАТУРА:

- ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий.
- Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948. – 200 с.
- Денисенко В.И. Рабочие углы инструментов // Резание и инструмент. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Выпуск 30. – Харьков, 1983. – С. 55–61.

4. *Иноземцев Г.Г.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1984. – 230 с.
5. *Равська Н.С., Родін П.Р., Мельничук П.П.* Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 332 с.
6. *Родін П.Р.* Основы теории проектирования режущих инструментов. – К.: Машгиз, 1960. – 160 с.
7. *Родін П.Р.* Основы формообразования поверхности резанием. – К.: Вища школа, 1977. – 190 с.
8. *Семенченко И.И.* Режущий инструмент. – М.: Машгиз, 1944. – Т. 3. – 560 с.; Т. 4. – С. 40.

РАВСЬКА Наталія Сергіївна – доктор технічних наук, професор, завідувача кафедрою інструментального виробництва Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

НОЩЕНКО Наталія Олександрівна – аспірант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– теорія проектування дискових фрез;

– процеси фрезерування.

Подано 05.10.2005

Равська Н.С., Нощенко Н.О. Геометрія дискових відрізних фрез.
Равская Н.С., Нощенко Н.А. Геометрия дисковых отрезных фрез.
Ravskaja N.S., Nochenko N.A. The geometry of disk cut-off milling cutters.

УДК 621.914.2

Геометрия дисковых отрезных фрез / Н.С. Равская, Н.А. Нощенко

Исследованы особенности конструкции дисковых отрезных фрез с чередующимися зубьями. Графически решена задача и выведены аналитические зависимости для расчета статических геометрических параметров дисковых отрезных фрез для общего случая размещения передней и задней поверхностей. Выведены аналитические зависимости для определения толщины среза в исследуемой точке режущей кромки в различные моменты времени при вращении дисковой фрезы вокруг своей оси.

УДК 621.914.2

The geometry of disk cut-off milling cutters / N.S. Ravskaja, N.A. Nochenko

The specifics of design of disk milling cutters with repetitive teeth are considered. The problem for calculation of static geometry parameters of disk cut – off milling cutters for a general case of rake face and back face position was solved graphically and developed analytical dependencies. The analytical dependencies for calculation of uncut width of cut in being investigated point during various moments of milling cutter rotation.