

УДК 621.9

**С.В. Майданюк**, асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

**ВИЗНАЧЕННЯ КУТА КОНТАКТУ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ  
З РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ ЗУБЦЯМИ****С.В. Майданюк**, ассистент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ  
С РАЗНОНАПРАВЛЕННЫМИ ЗУБЬЯМИ****Serhii Maidaniuk**, assistant

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute", Kyiv, Ukraine

**DETERMINATION OF THE CONTACT ANGLE OF CUT-OFF MILLING  
CUTTERS WITH ALTERNATE TEETH**

*Розв'язано задачу аналітичного визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискових відрізнних фрез з різнонаправленими зубцями, наведено методику визначення активної ширини оброблення та проведено аналіз залежно від конструктивних та геометричних параметрів інструменту. Ця задача є складовою для визначення навантаження відрізнних дискових фрез у процесі роботи та подальшого аналізу силового навантаження інструменту у процесі роботи.*

**Ключові слова:** товщина зрізаного шару, фреза дискова відрізна, різальна кромка, геометричні параметри, кут контакту.

*Решена задача аналитического определения угла контакта произвольной точки режущей кромки дисковых отрезных фрез с разнонаправленными зубьями, представлена методика определения активной ширины обработки и произведен анализ в зависимости от конструктивных и геометрических параметров инструмента. Данная задача является составляющей для определения загрузки отрезных дисковых фрез в процессе работы и дальнейшего анализа силового нагружения инструмента в процессе работы.*

**Ключевые слова:** толщина срезаемого слоя, фреза дисковая отрезная, режущая кромка, геометрические параметры, угол контакта.

*In this article it has been solved the problem of analytical determination of the contact angle of an arbitrary point of the cutting edge of cut-off milling cutters with alternate teeth, provided a methodology to determine the width of the active treatment and analyzed section thickness depending on the design and geometrical parameters of the tool. This task is a component for determining the load cut-off milling cutters in the process of further analysis of the force interaction of the tool in the process.*

**Key words:** the thickness cut off layer, cut-off milling cutters, cutting edge, geometric parameters, contact angle.

**Постановка проблеми.** Параметри зрізаного шару матеріалу є однією з важливих характеристик процесу різання та визначаються разом з геометрією різальної частини інструменту.

До параметрів зрізаного шару відносяться переріз зрізаного шару, площа, товщина та ширина зрізаного шару. Ці параметри значною мірою впливають на характеристики явищ процесу різання. Через ці характеристики можна оцінити можливу працездатність інструменту та вибрати найбільш доцільну конструкцію інструменту, що забезпечить необхідну працездатність інструменту.

Тому визначення параметрів зрізаного шару під час проектування інструменту є важливим завданням, особливо для деяких прогресивних конструкцій дискових багатозубих інструментів, а саме завдяки їх складній схемі різання, яка обумовлена наявністю груп зубів з різними схемами різання припуску.

Також під час аналізу параметрів зрізаного шару необхідно враховувати, що під час різання спостерігається взаємний вплив один на одного різних різальних кромки та їх ділянок, що знаходяться у контакті з заготовкою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням параметрів зрізаного шару присвячено багато робіт дослідників [1; 2; 3; 4; 5]. Для аналізу працездатності інструменту на стадії його проектування необхідно провести розрахунок параметрів зрізаного шару матеріалу таким інструментом з урахуванням реальної форми різальної кромки інструменту, можливої складної схеми різання для окремих зубів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У більшості робіт розглядається аналіз завантаження різальної частини інструменту з постійною схемою зрізання припуску без врахування зміни її для окремих зубів інструменту. Також не досліджувалось, як впливає форма зуба інструменту на параметри зрізуваного шару.

Одним з питань визначення завантаження різальної кромки інструменту зі складною схемою різання, до яких відноситься дискова відрізна фреза з різнонаправленими зубцями, за рахунок генераторної схеми зрізання припуску, є визначення кута контакту довільної точки різальної кромки з заготовкою.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези з заготовкою.

**Виклад основного матеріалу.** Товщина зрізу в досліджуваній точці різальної кромки інструменту, відповідно до ДСТУ 2249-93 [6], є довжиною нормалі до поверхні різання, проведеної через цю точку різальної кромки, обмежена перерізом зрізуваного шару.

Дискова відрізна фреза з різнонаправленими зубцями складається з груп із двох зубців, що відрізняються лише знаком кута нахилу різальної кромки в інструментальній системі координат  $\lambda_f$ .

Відповідно до цього для визначення положення зуба фрези необхідно визначити положення поверхні різання попереднього зуба, а вже наступним етапом визначити кут контакту та товщину зрізу.

Дискова відрізна фреза у процесі роботи виконує два рухи: головний рух різання  $D_r$  – обертання навколо своєї осі зі швидкістю  $V$  та рух подачі  $D_s$  – поступальний рух з постійною швидкістю  $V_s$  (рис. 1). Тому у процесі різання кожна точка різальної кромки рухається по еліптичній траєкторії.

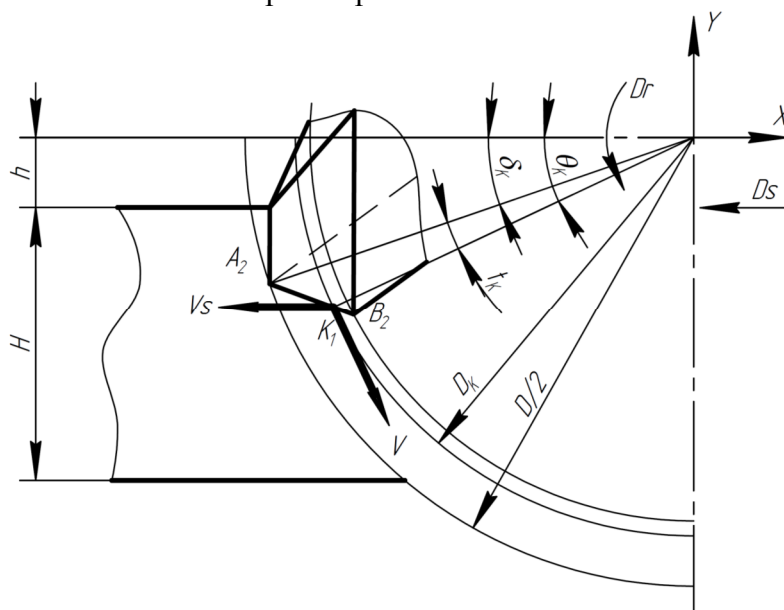


Рис. 1. Схема до визначення роботи дискової відрізної фрези

Таким чином, поверхня різання довільним зубом фрези у процесі роботи визначається залежностями (1):

$$\begin{aligned} x_i &= R_i \cdot \cos(t + \delta_i) - \frac{S_z \cdot z_k}{2\pi} (t - \pi + \theta_i), \\ y_i &= R_i \cdot \sin(t + \delta_i), \\ z_i &= z_k, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $R_j$  – радіус довільного зуба інструменту в довільній точці, що характеризується положенням  $z_K$ ;

$z_K$  – зміщення досліджуваної точки  $K$  різальної кромки відносно вершини фрези;

$\delta_j$  – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба;

$Sz$  – величина подачі, мм/зуб;

$t$  – параметр, що відповідає за рух зуба по траєкторії;

$\theta_j$  – кутовий параметр, що відповідає номеру зуба і пропорційний кількості зубів інструменту.

Положення довільної точки зубців дискової фрези з різнонаправленими зубцями визначається таким чином:

– для непарного зуба:

$$R_1 = \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \frac{z_K}{\operatorname{tg}\varphi_j}\right)^2 + \left(\frac{z_K \cdot \operatorname{tg}\lambda_j}{\sin\varphi_j}\right)^2},$$

$$\operatorname{tg}\delta_1 = \frac{z_K \cdot \operatorname{tg}\lambda_j}{\sin\varphi_j \cdot \left(\frac{D}{2} + \frac{z_K}{\operatorname{tg}\varphi_j}\right)}$$

– для парного зуба:

$$R_2 = \sqrt{\left(\frac{D}{2} + \frac{B - z_K}{\operatorname{tg}\varphi_j}\right)^2 + \left(\frac{(B - z_K) \cdot \operatorname{tg}\lambda_j}{\sin\varphi_j}\right)^2},$$

$$\operatorname{tg}\delta_2 = \frac{(B - z_K) \cdot \operatorname{tg}\lambda_j}{\sin\varphi_j \cdot \left(\frac{D}{2} + \frac{B - z_K}{\operatorname{tg}\varphi_j}\right)}$$

де  $R_1, R_2$  – радіус довільної точки різальної кромки парного та непарного зубців відповідно;

$\delta_1, \delta_2$  – кутове положення довільної точки різальної кромки парного та непарного зубців відповідно;

$D$  – діаметр фрези;

$B$  – ширина фрези;

$z_K$  – відстань від вершини зуба фрези вздовж її осі;

$\varphi_j$  – головний кут у плані в інструментальній системі координат.

Геометричні параметри зуба фрези в інструментальній системі координат наведені на рис. 2.

Оскільки для визначення товщини зрізу необхідно визначити нормаль до поверхні різання відповідно до ДСТУ 2249-93, то постає завдання визначення активної ділянки роботи фрези.

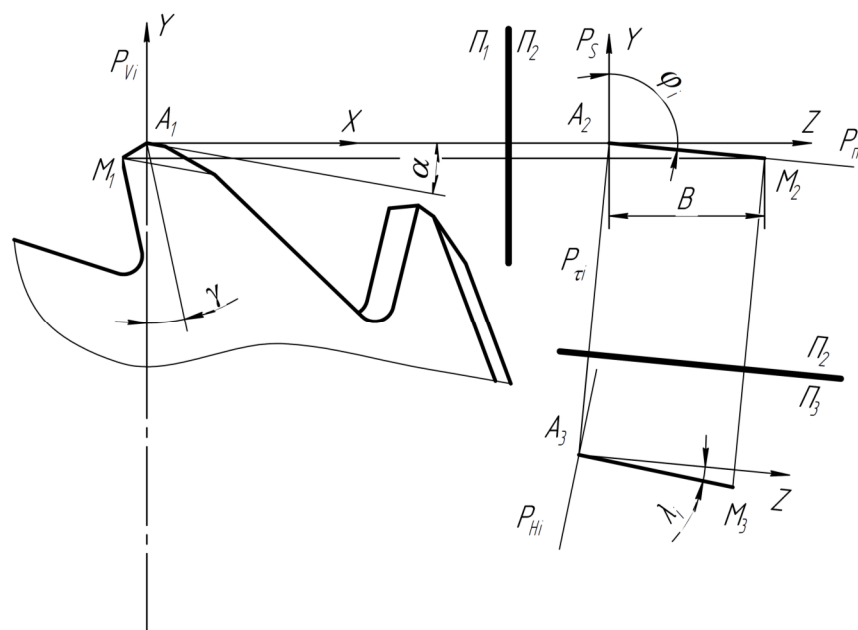


Рис. 2. Геометрія дискової відрізної фрези

Цю задачу розв’яжемо у два етапи:

1 – визначається положення точки перетину (кут перетину  $t_i$ ) поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою в довільний момент різання (у довільній точці заготовки по її висоті).

Для цього вирішується рівняння, яке характеризує положення зуба фрези у площині XY відносно положення оброблюваної заготовки:

$$R_i \cdot \sin(t_i - \delta_i) = h_k,$$

де  $R_i$  – радіус довільної точки різальної кромки довільного зуба;  $\delta_i$  – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба;

$h_k$  – геометричне місце точок площини оброблюваної деталі по висоті ( $h \leq h_k \leq h + H$ );

$h$  – відстань від осі фрези до верхнього краю заготовки;

$H$  – товщина заготовки, що розрізається.

Таким чином, отримуємо систему з двох рівнянь, яка у загальному випадку може бути записана таким чином (2):

$$t_i = \pi - \arcsin\left(\frac{h_k}{R_i}\right) - \delta_i. \tag{2}$$

Така система під час її вирішення дає значення кута перетину поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою у довільний момент різання.

Кут контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези визначається відповідно до рівняння (3):

$$\theta_K = t_i - \delta_i - \pi, \tag{3}$$

де  $t_i$  – кут перетину поверхні різання двох послідовних зубців фрези з оброблюваною заготовкою у довільний момент різання (у довільній точці заготовки по її висоті);

$\delta_i$  – кутове положення довільної точки різальної кромки довільного зуба.

2 – визначається активна ширина різання у процесі роботи фрези у зоні різання.

Для визначення активної ширини різання дисковою фрезою підставимо систему (2), визначення кута перетину, в рівняння поверхні різання відповідним зубом та прирівняємо їх координати  $x_j$ , отримавши систему рівнянь, яка у загальному вигляді запишеться таким чином:

$$x_j = R_j \cdot \cos(t_j - \delta_j) - \frac{Sz \cdot zk}{2\pi} \cdot (t_j - \pi + \theta n_j). \quad (4)$$

Вирішуючи систему рівнянь (3) для двох послідовних зубців, знаходимо величину активної ширини різання під час роботи дискової відрізної фрези.

Приклад послідовних положень зрізів двох зубців дискової відрізної фрези під час розрізання заготовки прямокутного перерізу наведено на рис. 3.

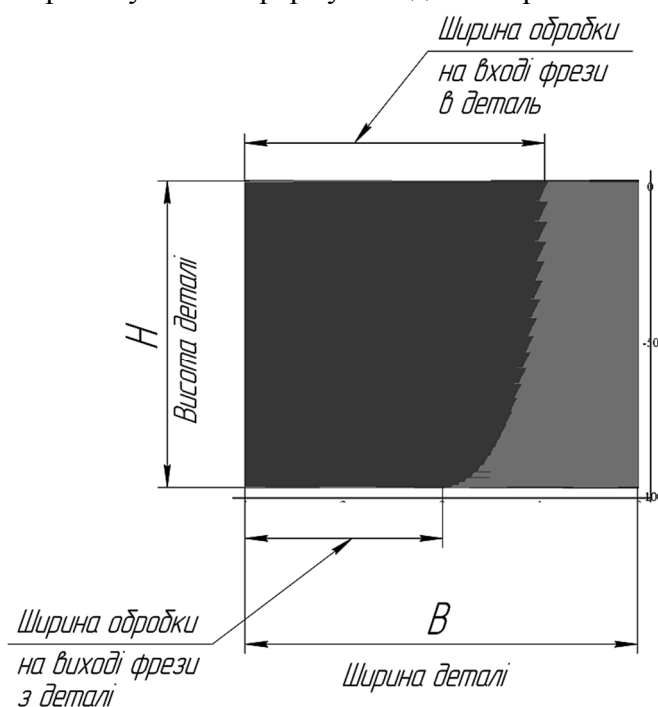


Рис. 3. Активна ширина ділянки оброблення на вході та виході фрези

Для аналізу кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези та активної ширини ділянки оброблення відрізних фрез з різнонаправленими зубцями множину вхідних факторів утворюють:

- конструктивні параметри:
- діаметр фрези  $D$  ;
- зміщення досліджуваної точки  $K$  різальної кромки відносно середнього перерізу фрези  $z_K$  ;
- кількість зубців фрези  $z$  ;
- геометричні параметри:
- інструментальний задній кута  $\alpha_j$  ;
- інструментальний передній кут  $\gamma_j$  ;
- кут нахилу задньої поверхні  $\tau_\alpha$  ;
- кут нахилу передньої поверхні  $\tau_\gamma$  ;
- товщина заготовки  $H$  ;
- положення заготовки  $h$  ;
- подача на зуб  $Sz$  .

Аналіз кута контакту довільної точки різальної кромки дискової відрізної фрези та активної ширини ділянки оброблення на вході та виході фрези залежно від конструктивних та геометричних параметрів дискової відрізної фрези можна оцінити таким чином:

– суттєво впливають на значення досліджуваних параметрів: діаметр фрези  $D$ , кількість зубців фрези  $Z$ , товщина заготовки  $H$ , положення заготовки  $h$ , кут нахилу передньої поверхні  $\tau_\gamma$ , подача на зуб  $Sz$ ;

– впливають, але не так суттєво на значення досліджуваних параметрів: інструментальний задній кут  $\alpha_i$ , інструментальний передній кут  $\gamma_i$ , кут нахилу задньої поверхні  $\tau_\alpha$ .

При цьому видно, що активна ширина оброблення на вході фрези майже завжди більша величини на виході фрези із заготовки, а також може досягати значень, близьких до половини ширини фрези, залежно від геометричних та конструктивних параметрів.

Величина активної ширини оброблення на вході та виході фрези залежно від геометричних та конструктивних параметрів коливається у межах  $(0.51...1,0) \cdot B$ , а їх різниця може досягати 25 % від ширини фрезерування  $B$ .

**Висновки і пропозиції.** У статті виведено аналітичну залежність для визначення кута контакту довільної точки різальної кромки дискових відрізних фрез з різнонаправленими зубцями та проведено аналіз впливу геометричних та конструктивних параметрів фрез на активну ширину ділянки оброблення. Одержані залежності можуть бути використані для подальшого аналізу завантаження різальної кромки, силового та динамічного аналізу процесу відрізання дисковими фрезами.

#### Список використаних джерел

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов : учебник / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Основы теории резания материалов : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залого, Ю. Л. Новосьолов, Ф. Я. Якубов. – Львів : Новий Світ, 2010. – 422 с.
3. Родін П. Р. Різальний інструмент в прикладах і задачах : навчальний посібник / П. Р. Родін, Н. С. Равська, Л. І. Ковальова. – К. : Вища школа, 1994. – 293 с.
4. Розенберг Ю. А. Резание материалов : учебник [для студентов технических вузов] / Ю. А. Розенберг. – Курган : ОАО «Полиграфический комбинат» Зауралье, 2007. – 294 с.
5. Верещака А. С. Резание материалов : учебник / А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : Высшая школа, 2009. – 539 с.
6. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення і позначення. – Введ. 1995–01–01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 65 с.