

# ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.914.22

**Равська Н.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Парненко В.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХНІ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ДИСКОВИХ ОБКАТНИХ ФРЕЗ З НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ

*У статті досліджується геометрія задньої поверхні дискової обкатної фрези при нарізанні зубів дискових відрізних фрез із нерівномірним кроком та прямолінійним профілем. Із метою оцінки працездатності різального інструменту було визначено зміни задніх кутів уздовж різальних кромки у процесі різання. Досліджено зміну задніх кутів залежно від кількості зубів, кількості зубів у групі оброблювального виробу та діаметра обкатної фрези з нерівномірним кроком уздовж різальної кромки по кожному її зубу. Було здійснено порівняння їх величини з тими, що рекомендуються в літературних джерелах. Згідно з цими рекомендаціями, проаналізовано можливі шляхи вдосконалення інструменту.*

**Ключові слова:** дискові обкатні фрези, нерівномірний крок, кінематичні геометричні параметри, задні кути, задня поверхня.

**Постановка проблеми.** Дискові обкатні фрези [1, с. 3] призначені для оброблення відрізних пил із нерівномірним кроком [2, с. 40]. Для розроблення конструкції обкатної фрези необхідно визначити вплив її конструктивних параметрів на зміну геометрії вздовж різальної кромки кожного зуба в процесі роботи. На основі порівняння з рекомендованими значеннями визначаються шляхи удосконалення інструмента.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкція дискової обкатної фрези була розроблена і досліджена стосовно виготовлення храпових коліс, які є дисками з рівномірним кроком зубів. У цій роботі [3, с. 165] показано, що геометричні параметри в процесі оброблення на кожному зубі обкатної фрези однакові, проте, якщо кожен зуб обкатної фрези буде мати різні розміри (що пов'язано з нерівномірністю кроку у групі) [2, с. 40], то геометричні параметри в процесі роботи будуть змінюватися від зуба до зуба. Тому виникає завдання дослідити ці зміни

на кожному зубі, яку для обкатного інструмента характеризують кінематичні геометричні параметри.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Геометричні параметри різальної частини інструменту залежать від форми його передніх, задніх поверхонь та від рухів, що здійснюються в процесі оброблення заготовки інструментом.

Визначення геометричних параметрів різальної частини інструмента подано в ДСТУ 2249-93 «Обробка різанням. Терміни, визначення та позначення».

Геометрія задньої поверхні різального інструменту характеризується формою задньої поверхні з розташованою на ній різальною кромкою і положенням задньої поверхні щодо поверхні різання.

Задній кут  $\alpha$  – це кут у січній площині між площиною, дотичною до задньої поверхні в досліджуваній точці різальної кромки і площиною різання [4, с. 21], що однозначно визначається нормальними цими площин.



Рис. 1. Профілюючі ділянки різальних кромок дискової обкатної фрези

Будемо вважати відомим задній кут у вершинній точці ріжучої кромки в торцевому перетині обкатної фрези, перпендикулярному до її осі.

Кут між нормаллю  $\bar{N}_n$  до площини різання і нормаллю  $\bar{N}_3$  до задньої площини буде рівний задньому куту  $\alpha_n$  в нормальному перетині [5, с.73].

Тому кінематичний задній кут  $\alpha_{nk}$  буде таким:

$$\cos \alpha_{nk} = \frac{(\bar{N}_{nk} \cdot \bar{N}_3)}{|\bar{N}_{nk}| \cdot |\bar{N}_3|} \quad (1)$$

Вектор  $\bar{N}_{nk}$  нормалі до кінематичної площини різання визначається за залежністю:

$$\bar{N}_{nk} = [\bar{P} \times \bar{V}_e] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ P_x & P_y & P_z \\ V_{ex} & V_{ey} & V_{ez} \end{vmatrix} = \bar{i} \cdot (P_y \cdot V_{ez} - P_z \cdot V_{ey}) - \bar{j} \cdot (P_x \cdot V_{ez} - P_z \cdot V_{ex}) + \bar{k} \cdot (P_x \cdot V_{ey} - P_y \cdot V_{ex}) = \bar{i} \cdot N_{nkx} + \bar{j} \cdot N_{nky} + \bar{k} \cdot N_{nkz}$$

Положення задньої площини визначається вектором  $\bar{P}$  і вектором  $\bar{Z}$ , розташованим у задній площині.

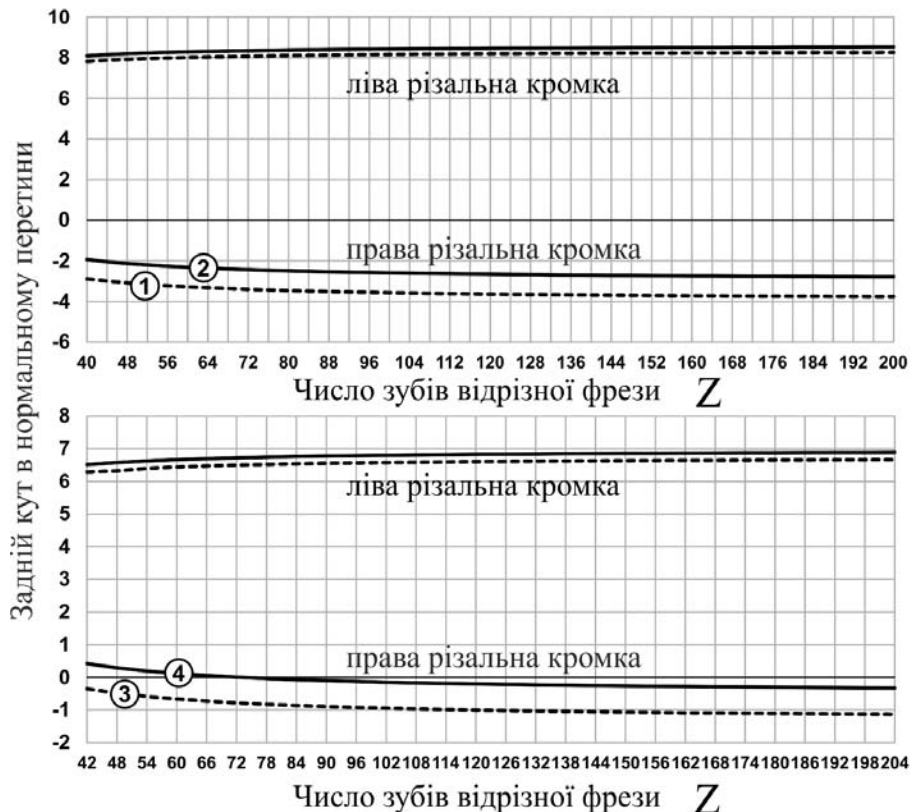
Положення вектора  $\bar{Z}$  залежить від форми задньої поверхні і записується в координатній формі:

$$\bar{Z} = \bar{i} \cdot Z_x + \bar{j} \cdot Z_y + \bar{k} \cdot Z_z$$

Вектор нормалі  $\bar{N}_3$  до задньої площини буде таким:

$$\bar{N}_3 = [\bar{P} \times \bar{Z}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ P_x & P_y & P_z \\ Z_x & Z_y & Z_z \end{vmatrix} = \bar{i}(P_y Z_z - P_z Z_y) - \bar{j}(P_x Z_z - P_z Z_x) - \bar{k}(P_x Z_y - P_y Z_x);$$

$$\bar{N}_3 = \bar{i} N_{3x} + \bar{j} N_{3y} + \bar{k} N_{3z}$$



- 1 – Параметри відрізної фрези:  $Z_{gr}=4, \gamma=10^\circ$ ;
- 2 – Параметри відрізної фрези:  $Z_{gr}=4, \gamma=5^\circ$ ;
- 3 – Параметри відрізної фрези:  $Z_{gr}=6, \gamma=10^\circ$ ;
- 4 – Параметри відрізної фрези:  $Z_{gr}=6, \gamma=5^\circ$ .

Рис. 2. Характер зміни нормального заднього кута  $\alpha_n$  у вершинній точці ріжучої кромки залежно від кількості зубів відрізної фрези

Додатково до математичних та інженерних обчислень Mathcad були введені вихідні дані та формули для розрахунку  $\bar{P}$ ,  $\bar{Z}$ ,  $\bar{V}_e$ ,  $\bar{N}_{nk}$ ,  $\bar{N}_3$ .

Досліджено зміни  $\alpha_{nk}$  дискової обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі в процесі оброблення багатозубого виробу з нерівномірним кроком.

Під час дослідження кінематичного заднього кута було розглянуто положення зуба дискової обкатної фрези в момент повного врізання в заготовку під час оброблення відрізних фрез із нерівномірним кроком за такими параметрами:  $Z_{gr}=4$ , та  $Z_{gr}=6$ ,  $Z_e=40\div 200$ .

Досліджувались зміни кінематичних кутів на двох різальних кромках (правій МА та лівій МВ) (рис. 1). Базовими точками різальної кромки розглядалися вершинна точка М та дві граничні точки різальних кромок у процесі оброблення виробу – точка А та точка В.

Особливості профілю кожного зуба дискової обкатної фрези такі, що для нарізання відрізнної фрези із зубами у групі  $Z_{gr} = 4$  профілі другого та четвертого зубів мають однакові розміри, а для нарізання відрізнної фрези із зубами  $Z_{gr} = 6$  профілі другого та третього зубів мають однакові розміри з профілем п'ятого та шостого.

На рисунку 2 показано характер зміни кінематичного заднього кута  $\alpha_n$  на першому найбіль-

шому зубі обкатної фрези залежно від кількості зубів, кількості зубів у групі та переднього кута оброблювальної відрізнної фрези.

У процесі різання (при прийнятому задньому  $\alpha_e = 10^\circ$  інструментальному куті у вершинній точці ріжучої кромки) задній кут на одній із бічних ріжучих кромки має позитивні значення, а на другій – негативні, що недопустимо.

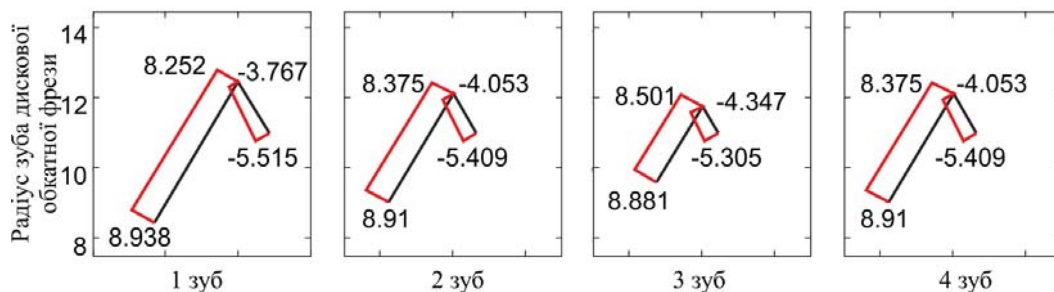
За рекомендаціями [6, с. 86], мінімальне значення  $\alpha_n$  повинно бути не менше 3-4°.

Дослідження впливу кількості зубів відрізнної фрези показали, що при їх збільшенні кінематичній задній кут зростає.

Показано, що на величину задніх кутів також впливає передній кут відрізнної фрези. Як видно з рис. 2, його зменшення викликає збільшення  $\alpha_e$  обкатної фрези на правій стороні та більш інтенсивне зменшення на лівій, набуваючи від'ємного значення.

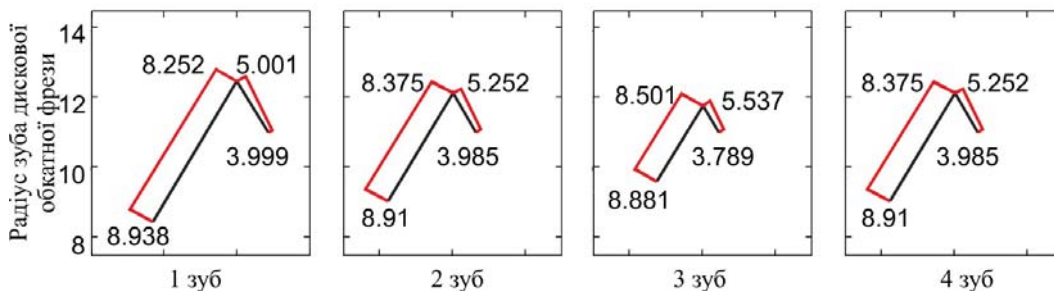
Слід зазначити, що передня поверхня зубів відрізнної фрези утворюється правою різальною кромкою обкатної фрези. Тому нарізання зубів відрізнної пили обкатною фрезою, заданий передній кут виробу забезпечується заточкою задньої поверхні.

Установлено, що зменшення кількості зубів у групі зменшує нормальний задній кут (рис. 2). Під час дослідження зміни нормальних кутів  $\alpha_n$



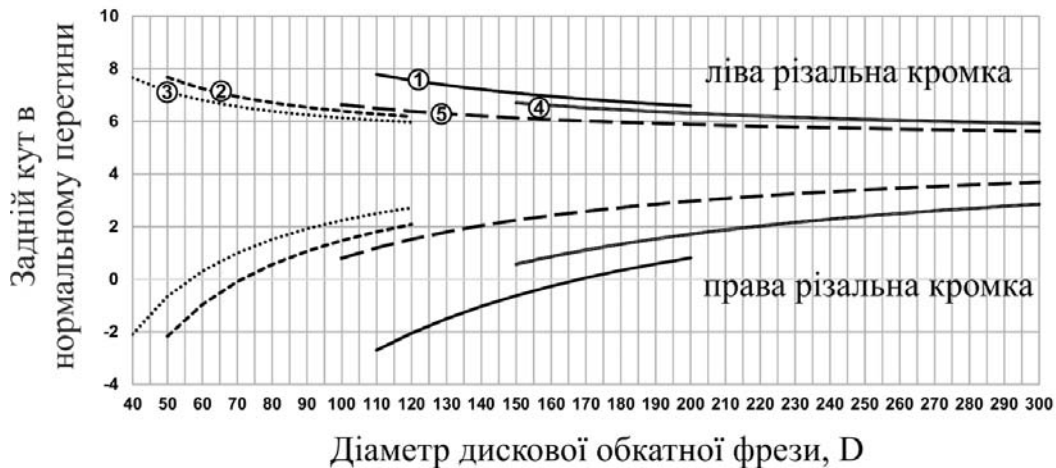
Параметри відрізнної фрези  $Z_{gr}=4$ ,  $Z_e=200$ ,  $\gamma=10^\circ$ .

Рис. 3. Епюри зміни кінематичного заднього кута  $\alpha_n$  обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі (при  $\alpha_e = 10^\circ$ )



Параметри відрізнної фрези  $Z_{gr}=4$ ,  $Z_e=200$ ,  $\gamma=10^\circ$ .

Рис. 4. Епюри зміни кінематичного заднього кута  $\alpha_n$  обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі при  $\alpha_{np} = 15^\circ$ ,  $\alpha_{Nlv} = 5^\circ$



- 1 – відрізна фреза с  $Z=48$ , мінімальний діаметр обкатної фрези  $D=104.866$  мм.;  
 2 – відрізна фреза с  $Z=120$ , мінімальний діаметр обкатної фрези  $D=41.587$  мм.;  
 3 – відрізна фреза с  $Z=192$ , мінімальний діаметр обкатної фрези  $D=25.934$  мм.;  
 4 – відрізна фреза с  $Z=120$ , мінімальний діаметр обкатної фрези  $D=145.972$  мм.;  
 5 – відрізна фреза с  $Z=192$ , мінімальний діаметр обкатної фрези  $D=91.073$  мм.

**Рис. 5.** Епюри зміни кінематичного заднього кута  $\alpha_n$  залежно від обраного діаметра дискової обкатної фрези (мінімальний розрахунковий діаметр  $D=50$  мм,  $Z_{gr}=4$ ,  $D=215$  мм,  $Z=96$ )

уздовж різальної кромки в процесі роботи вибраний найбільш критичний момент, коли буде оброблення відрізної фрези з переднім кутом  $\alpha_n$  уздовж різальної кромки в процесі роботи вибраний найбільш критичний момент, коли буде оброблення відрізної фрези з переднім кутом  $\gamma=10^\circ$ , кількістю зубів у групі  $Z_{gr}=4$  та кількістю зубів  $Z_b=200$ .

Зміни заднього кута вздовж різальної кромки в найбільш критичному випадку показано на рис. 3.

Дослідженнями зміни задніх кутів встановлено, що під час оброблення відрізної фрези зубів у групі  $Z_{gr}=4$  не можна приймати задній кут згідно з рекомендованими значеннями. Розрахунками встановлено, що при виготовленні дискової обкатної фрези задній кут у нормальному перетині на правій різальній кромці повинен бути  $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$ , а на лівій –  $\alpha_{Nlie} = 5^\circ$ .

Зміни заднього кута при зазначених  $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$  показані на рис. 4.

На рис. 5 показано вплив на задній кінематичний кут обраного діаметра дискової обкатної фрези.

Аналіз змін кінематичних задніх кутів показав, що зі збільшенням діаметра дискової обкатної фрези геометрія задньої поверхні стає більш сприятливою на обох ріжучих кромках.

**Висновки.** У результаті дослідження геометрії задньої поверхні дискових обкатних фрез із нерів-

номірним кроком в групі показано, що нормальний кут у нормальному перерізі вздовж різальної кромки залежить від кількості зубів виробу, який нарізають, кількості зубів у групі, переднього кута відрізної фрези та діаметра обкатної фрези.

Установлено, що різальна кромка обкатної фрези, яка формує передню поверхню, має в процесі різання найбільш несприятливу геометрію. Для відрізних фрез з  $Z_{gr}=4$  вони набувають від'ємних значень.

Значення позитивних кутів може бути забезпечено заточкою правої (яка формує передню поверхню відрізної фрези) та лівої (яка формує задню поверхню) різальних кромки під різними нормальними кутами (для правої –  $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$ , для лівої –  $\alpha_{Nlie} = 5^\circ$ ).

Також позитивні задні кути дискової обкатної фрези можуть бути забезпечені збільшенням діаметра фрези.

У результаті досліджень встановлено, що збільшення кількості зубів у групі сприятливо позначається на кінематичних задніх кутах дискової обкатної фрези та вони набувають позитивних значень. Усе це дає можливість призначити оптимальні задні кути у процесі виготовлення дискових обкатних фрез із нерівномірним кроком та різною кількістю зубів.

**Список літератури:**

1. Обточувальна фреза для нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів: пат. 106173 Україна: МПК: В23F 5/00. №201507365; заявл. 22.07.15; опублік. 25.04.16, Бюл. № 8. 4 с/
2. Лорох Р.О. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1998. 180 с.
3. Одинцова А.С. Фасонные фрезы для обработки храповых колес методом обкатки: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1989. 208 с.
4. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. Чинний від 01.01.1995. Київ: Держстандарт України, 1994. 55 с.
5. Равська Н.С., Ковальова Л.І., Охріменко О.А., Вовк В.В. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнена теорія визначення геометричних параметрів різального інструменту». Київ: НТУУ КПІ, 2008. 208с.
6. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов. Киев, 1960. 160с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ДИСКОВОЙ ОБКАТОЧНОЙ ФРЕЗЫ С НЕРАВНОМЕРНЫМ ШАГОМ**

*В статье исследуется геометрия задней поверхности дисковой обкаточной фрезы в процессе ее работы при нарезке зубов дисковых отрезных фрез с неравномерным шагом и прямолинейным профилем. С целью оценки работоспособности режущего инструмента были определены изменения задних углов вдоль режущих кромок в процессе обработки. Исследовано изменение задних углов в зависимости от числа зубов, числа зубьев в группе обрабатываемого изделия и диаметра обкаточной фрезы с неравномерным шагом вдоль режущей кромки по каждому ее зубу. Было произведено сравнение их величины с рекомендуемыми в литературных источниках. Согласно этим рекомендациям, проанализированы возможные пути совершенствования инструмента.*

**Ключевые слова:** дисковые обкаточные фрезы, неравномерный шаг, кинематические геометрические параметры, задние углы, задняя поверхность.

**THE RESEARCHING OF THE GEOMETRY OF THE REAR SURFACE OF THE SHAPED MILLING CUTTER WITH THE IRREGULAR STEP**

*The geometry of the back surface of a disk milling cutter is studied in the course of its work when it cutting the teeth of disc cutting mills with irregular pitch and a straight profile. In order to assess the operability of the cutting tool, changes in the rear angles along the cutting edges during processing were determined. The change in the rear corners was studied depending on the number of teeth, the number of teeth in the group of the work piece and the diameter of the milling cutter with an irregular pitch along the cutting edge for each of its teeth. Their values were compared with those recommended with the literature. According to these recommendations, possible ways of improving the tool are analyzed.*

**Key words:** disk milling cutters, irregular pitch, kinematic geometric parameters, rear corners, rear surface.