

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**ПАРНЕНКО ВАЛЕРІЯ СЕРГІЇВНА**

УДК 621.914.5

**ДИСКОВІ ОБКАТНІ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ ВІДРІЗНИХ ПИЛ З  
НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ**

Спеціальність: 05.03.01 - Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Равська Наталія Сергіївна**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського»,  
професор кафедри інтегрованих технологій  
машинобудування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Панчук Віталій Георгійович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри машинобудівного виробництва

доктор технічних наук, професор  
**Клочко Олександр Олександрович**,  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»,  
професор кафедри технології машинобудування та  
металорізальних верстатів

Захист відбудеться «21» травня 2019 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.11 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. №1, ауд. 214.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «19» квітня 2019р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.С. Ганпанцурова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Серед багатьох багатозубих виробів особливе місце займають відрізні та прорізні пили, які застосовуються в різних галузях промисловості при розрізці профілів з різних матеріалів.

Як показали дослідження роботи стандартних відрізних пил, спільно проведених кафедрами інструментального виробництва та динаміки і міцності машин ММІ Р. Лорохом, О.О. Боронком, В.Г. Панчуком, ці пили мають нестійку динаміку. В процесі їх роботи виникають значні згинальні коливання. В результаті цих досліджень були розроблені пили підвищеної динамічної стійкості, які забезпечують зниження згинальних коливань в процесі їх роботи, за рахунок нерівномірного кроку зубів у групі. Такі пили характеризуються зниженням зусиль різання, підвищеною працездатністю та продуктивністю, що досягається за рахунок покращення динаміки процесу відрізання.

Для виготовлення відрізних пил з нерівномірним кроком створені спеціальні верстати з ЧПК на яких на загартованих заготовках нарізуються пили з будь якою нерівномірністю зубів методом шліфування.

Відсутність таких верстатів з ЧПК для нарізування зубів відрізних пил з нерівномірним кроком стримує їх впровадження в Україні.

Останнім часом досить поширеним способом виготовлення відрізних пил є спосіб лазерного різання, який аналогічно шліфуванню на верстатах з ЧПК базується на програмному забезпеченні процесу обробки.

В першому і другому випадку обробки пил необхідне дороге обладнання, значні витрати на інструмент при шліфуванні, на електроенергію та спеціфічні витратні матеріали при лазерному різанні.

В зв'язку з цим виникла проблема розробки інструменту для виготовлення відрізних пил підвищеної динамічної стійкості (пил з нерівномірним кроком) без витрат на спеціальне обладнання. Такими інструментами є дискові обкатні фрези, що обробляють відрізні пили методом обкочування на універсальних зубофрезерних верстатах.

Проте теорія проектування таких фрез та теорія формоутворення ними профілю відрізних пил з нерівномірним кроком в групі відсутня. Тому розробка теорії та конструкції обкатної фрези є актуальною проблемою і має велике наукове та практичне значення.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності до тематичного плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і є частиною досліджень за держбюджетними темами:

№ 2914-Ф Узагальнена теорія визначення геометричних параметрів різального інструменту (державна реєстрація № 0106U002603).

№ 2912-П Розвиток теорії формоутворення поверхонь при механічній обробці (державна реєстрація № 0106U002602).

№ 2828-Ф Основи теорії проектування різальних інструментів для високошвидкісної обробки (державна реєстрація № 01150002354).

**Мета і задачі досліджень.** *Метою роботи є розробка дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком заданого профілю стружкових канавок та з забезпеченням точності за кроком.*

*Задачі досліджень.* Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі дослідження:

- провести аналіз існуючих конструкцій відрізних пил, типових профілів зубів і способів їх виготовлення;
- на основі загальної теорії формоутворення поверхонь розробити теорію проектування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком заданого профілю їх стружкових канавок;
- визначити мінімально допустимий діаметр обкатної фрези та умови забезпечення нею радіуса западини стружкових канавок пили;
- враховуючи кількість зубів з нерівномірним кроком в групі та нерівномірність їх кроку визначити зовнішній діаметр фрези з урахуванням переточок;
- дослідити вплив параметрів відрізних пил на величину кривизни перехідних кривих, що формують радіус западини їх стружкових канавок та на діаметр обкатних фрез;
- розробити конструкцію дискової обкатної фрези для обробки пил з нерівномірним кроком в групі;
- провести дослідження геометричних параметрів різальної частини обкатних фрез в процесі їх роботи;
- експериментально перевірити результати теоретичних досліджень;
- розробити рекомендації з проектування дискових обкатних фрез для обробки пил з нерівномірним кроком.

*Об'єкт досліджень* – спосіб нарізання відрізних пил з нерівномірним кроком дисковими обкатними фрезами.

*Предмет досліджень* – дискові обкатні фрези з нерівномірним кроком.

**Методи досліджень.** Виконані дослідження базуються на теорії формоутворення поверхонь, теорії проектування різальних інструментів, методах аналітичної і диференціальної геометрії та математичної статистики. Достовірність розроблених теоретичних положень перевірено шляхом лабораторно-промислових випробувань.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше розроблена теорія проектування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком заданого профілю їх стружкових канавок та з забезпеченням точності за кроком, яка включає визначення:
  - координат базових точок різальних кромки фрези при різних її установках відносно осі пили;
  - мінімально допустимого діаметра фрези та діаметра з врахуванням переточок;

- умов забезпечення утворення радіуса западин стружкових канавок відрізних пил;
  - зміщення вершин зубів обкатної фрези відносно осьової лінії, що забезпечує обробку кожної стружкової канавки зубів в групі з нерівномірним кроком.
2. Показано, що радіуси западин канавок пили відповідають радіусам перехідних кривих, сформованих обкатною фрезою. Вперше виведені залежності для їх розрахунку.
  3. Встановлено залежності зміни геометричних параметрів вздовж різальних кромки в процесі роботи обкатної фрези від числа зубів з нерівномірним кроком в групі, діаметра та числа зубів відрізної пили.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

На основі досліджень розроблена нова конструкція дискової обкатної фрези з нерівномірним кроком, призначена для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком зубів.

Розроблено спосіб обробки дисковою обкатною фрезою відрізних пил з нерівномірним кроком зубів, при якому обкатна фреза займає певне положення щодо оброблюваної пили, щоб забезпечити її обробку відповідно до технічних вимог виготовлення відрізної пили.

Розроблена методика проектування дискових обкатних фрез, яка відтворена в структурній схемі їх САПР. Розроблені алгоритми та програма побудови параметричної моделі фрези для створення твердотільної 3D моделі та проєкційних креслень. На їх основі розроблені загальні рекомендації з проектування дискових обкатних фрез.

На основі методики з визначення геометричних параметрів різальної частини зуба в процесі роботи дискових обкатних фрез надано рекомендації щодо їх вибору.

Розроблений та запатентований спосіб на основі методу обкочування (патент № 104229 Україна), його реалізація забезпечується розробкою дискової обкатної фрези (патент № 106173 Україна).

**Особистий внесок здобувача.** В дисертаційній роботі представлені результати досліджень, які автор отримав особисто: автором виконано аналіз літературних джерел з сучасного стану проблеми; запропоновані та практично перевірені положення розробленої теорії формування западин зубів відрізних пил з нерівномірним кроком дисковими обкатними фрезами; визначені кінематичні геометричні параметри різальної частини дискової обкатної фрези в процесі її роботи.

Постановка задач досліджень, формулювання основних положень роботи, опрацювання структури та змісту роботи виконані разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались на: II Міжнародній конференції «Прогресивна техніка і технологія», (м. Севастополь, 2001); Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике» (г. Новосибирск,

2013 р., 2014 р.); Загально-університетській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів, присвяченій дню Науки, (м. Київ, 2014); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні підходи і сучасна наука», (м. Київ, 2015); Міжнародній конференції «Наука в епоху дисбалансів», (м. Київ, 2016); Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», (м. Краматорськ, 2016 р., 2017 р.); XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (м. Одеса, 2016 р.); III міжнародній конференції «Наука і сучасність: виклики глобалізації» (м. Київ, 2017 р.).

**Перелік публікацій.** За результатами досліджень опубліковано 19 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статті включені до міжнародних наукометричних баз), 2 авторських свідоцтва на корисну модель, 1 стаття в науковому журналі, 10 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 205 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 159 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 16 таблицями та 55 рисунками. Список використаних джерел містить 124 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета роботи і визначені основні завдання, які необхідно вирішити для її досягнення. Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження. Визначені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача.

**В першому розділі** наведений аналіз різних форм зубів відрізних пил, конструктивні параметри та їх розташування на робочій частині, які виготовляються, відповідно до стандартів та пропонуються фірмами виробниками, зокрема і пили з нерівномірним кроком (Julia Utensili, Seg. metal srl, Kinkelder, Stark gmbh & Co.). Розглянуто область застосування кожної конструкції, переваги та недоліки. Пили з нерівномірним кроком, порівняно з іншими, забезпечують зниження згинальних коливань, результатом чого є зниження поломок і підвищення режимів різання, що в свою чергу підвищує працездатність пил та продуктивність їх роботи.

Проаналізовані сучасні способи обробки багатозубих виробів, до яких також належать відрізни пили. Ці способи базуються на методах обробки копіюванням, обкочуванням та дотику (обхід по контуру на верстатах з ЧПК).

Для кожного з них розглянуті схеми та задіяні при обробці зубів пил інструменти.

Обґрунтовано вибір способу обробки зубів пил з нерівномірним кроком дисковими обкатними фрезами, який не потребує додаткових витрат на

придбання спеціалізованого обладнання з програмним керуванням при нарізанні зубів пил цієї конструкції.

Виходячи з результатів аналізу проблеми були сформульовані мета та задачі досліджень. Вирішенню встановленої наукової задачі присвячені наступні глави дисертаційної роботи.

**У другому розділі** на основі загальних положень теорії формоутворення зубчастих виробів обкатними фрезами розроблена теорія проектування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком у групі. Теорія проектування фрез розглянута на прикладі обробки пил з дрібним зубом.

Рухи фрези та пили пов'язані між собою передавальним відношенням (рис.1):

$$\frac{\omega}{\omega_{\phi}} = \frac{Z_0}{Z} \quad (1)$$

де  $\omega$  і  $Z$  – кутова швидкість та кількість зубів пили відповідно;

$\omega_{\phi}$  і  $Z_0$  – кутова швидкість та кількість зубів фрези.

Кількість зубів в групі пили з нерівномірним кроком відповідає кількості зубів обкатної фрези, нерівномірність кроку яких визначає параметр нерівномірності  $\Delta$ .

З теорії формоутворення поверхонь при існуванні вихідної інструментальної поверхні в процесі обробки контакт інструментальної поверхні здійснюється за характеристикою, яка в даному випадку приймається за різальну кромку. Кожен зуб обкатної фрези буде профілюючим та буде мати свої параметри.

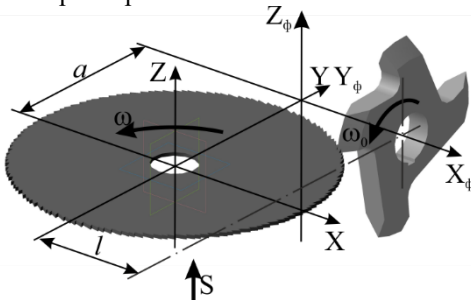


Рисунок 1 – Схема обробки на зубофрезерному верстаті

Теорія проектування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком включає визначення базових точок різальних кромки фрези та допустимого їх зовнішнього радіуса залежно від конструктивних параметрів нарізаної пили. Для визначення перехідних кривих в западинах стружкових

канавок пил (радіусів їх заокруглень) теорія проектування передбачає визначення параметрів установки обкатної фрези на верстаті відносно осі заготовки.

Оброблювальна поверхня пили з дрібним зубом обмежена двома площинами. Одна з них передня, друга – потилична. Вимоги до точності відтворення передньої площини вище ніж потиличної. Тому проектування фрези ведеться за умови геометрично точного оброблення передньої площини



Координати точок В і С змінюються для кожного профілю зуба, що пояснюється зміщенням осі обкатної фрези відносно осі відрізної пили.

Зміщення осі обкатної фрези до осі відрізної пили ( $l$ ) та відстань між осями ( $a$ ) визначається для найбільшого зуба обкатної фрези і залежить від найбільшої глибини стружкової канавки пили в групі та радіуса фрези:

$$l = 0.5 \cdot D \cdot \sin(\psi + \gamma) - H_{\max} \cdot \sin \psi \quad (10)$$

$$a = 0.5 \cdot D \cdot \sin(90^\circ - (\psi + \gamma) + 0.5 \cdot \varepsilon_{\max}) - h_{\max} + R_{\phi} \quad (11)$$

Обробка відрізних пил може здійснюватися при нахиленій установці обкатної фрези до осі пили під кутом  $\beta$ .

За формулами перетворення координат визначаються координати базових точок різальних кромок обкатної фрези:

$$X_{\phi} = X \cdot \cos \beta - Z \cdot \sin \beta, \quad Y_{\phi} = Y - a, \quad Z_{\phi} = Z \cdot \cos \beta + X \cdot \sin \beta \quad (12)$$

На основі забезпечення другої умови формоутворення визначена залежність для розрахунку мінімального допустимого діаметра дискової обкатної фрези:

$$R_{0\min} = \frac{0.5 \cdot D \cdot \sin\left(\frac{\varepsilon_{\max}}{2}\right) + H_{\max} \cdot \sin(\gamma)}{\sin(\psi + \gamma) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\varepsilon_{\max} \cdot Z}{2 \cdot Z_0}\right)\right)} \quad (13)$$

На основі перевірки третьої умови формоутворення показано, що перехідні криві виникають в западині зуба пили при установці осі обкатної фрези перпендикулярно до осі відрізної пили.

При встановленні обкатної фрези перпендикулярно осі пили виведені залежності для визначення радіуса перехідних кривих.

Визначення розмірів перехідних поверхонь при такій установці дає можливість з'ясувати при яких параметрах оброблюваної заготовки відрізної пили відхилення обробленої поверхні від її заданих розмірів лежать в допустимих межах. При виході за допустимі межі обробка при перпендикулярній установці фрези не можлива, в цьому випадку необхідно застосовувати установку фрези під кутом  $\beta$  до осі оброблюваної пили, що визначається за залежністю:

$$\sin \beta = \frac{\omega \cdot Y_{Bi}}{\omega_{\phi} \cdot (Y_{Bi} - a)} \quad (14)$$

**У третьому розділі** на базі розробленої теорії проєктування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком розглядається задача розробки конструкції цієї фрези.

Проєктування обкатних фрез здійснюється на прикладі фрези для обробки пил з дрібним зубом при їх перпендикулярній установці відносно осі оброблюваної заготовки.

При розробці конструкції обкатної фрези першочерговою задачею є визначення її зовнішнього діаметра з урахуванням переточок.

Зовнішній діаметр обкатної фрези з врахуванням переточок

визначається мінімальним розрахунковим діаметром –  $D_{0min}$ . Для цього були обчислені мінімальні кроки зубів з різною кількістю їх в групі та надані рекомендації з вибору мінімально допустимого кроку і визначення за ним параметра розподілу нерівномірності  $\Delta$  та числа зубів у групі  $Z_{gr}$ , а також діаметра  $D$  і загального числа зубів  $Z$  відрізної пили (кратних числу зубів в групі).

Визначення кутових кроків зубів  $\varepsilon_i$  з різною їх кількістю в групі ( $Z_{gr}=2,4,6,8$ ) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Кутові кроки зубів в групі

	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	$\varepsilon_4$	$\varepsilon_5$	$\varepsilon_6$	$\varepsilon_7$	$\varepsilon_8$	$\Sigma\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=2$	$\varepsilon_0$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	-	-	-	-	-	-	$\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=4$	$\varepsilon_0$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+3\varepsilon_{gr}$	-	-	-	-	$4\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=6$	$\varepsilon_0$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	-	-	$9\varepsilon_{gr}$
$Z_{gr}=8$	$\varepsilon_0$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+4\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+3\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+2\varepsilon_{gr}$	$\varepsilon_0+\varepsilon_{gr}$	$16\varepsilon_{gr}$

Характеристики групи зубів з нерівномірним кроком відрізних пил розраховуються за формулами: число груп зубів  $n=Z/Z_{gr}$ ; нормальний кутовий крок  $\varepsilon_z=360/Z$ ; нерівномірність сусідніх зубів у групі  $\varepsilon_{gr}=(\Delta \cdot \varepsilon_z)/100$ ; кут, що охоплюється однією групою  $\Omega=(2 \cdot \pi)/n$ ; мінімальний крок зубів в групі  $\varepsilon_0=(\Omega \cdot n \cdot \varepsilon_{gr})/Z_{gr}$ .

Для визначення мінімального розрахункового діаметра обкатної фрези  $D_{\phi min}$  з врахуванням допустимих переточок проведені дослідження зміни  $D_{0min}$  від загального числа зубів пили  $Z$ , числа зубів у групі  $Z_{gr}$  та переднього кута  $\gamma$  відрізної пили (рис. 3).

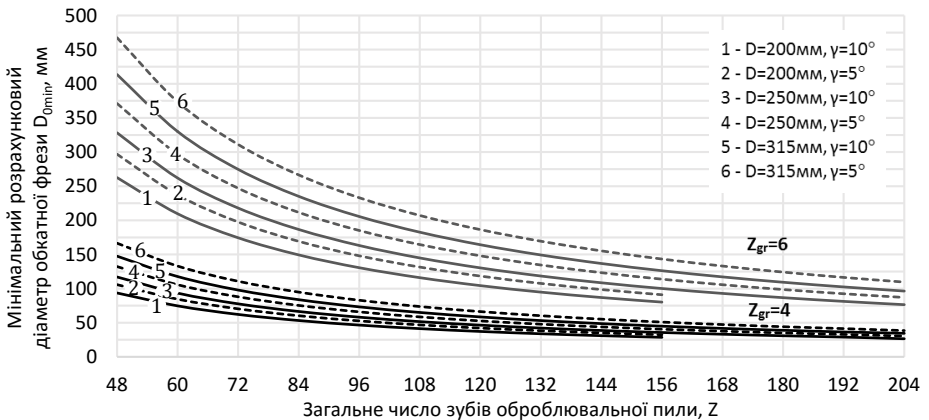


Рисунок 3 – Характер зміни розрахункового мінімального діаметра обкатної фрези при числі зубів у групі  $Z_{gr}=4$  та  $Z_{gr}=6$ .

Доведено, що при малих значеннях числа зубів відрізної пили величини мінімально допустимого зовнішнього діаметра обкатної фрези різко зростають. Можливість обробки відрізних пил в цьому діапазоні діаметрів та

числі зубів може бути обмежена конструктивними особливостями верстатів.

В роботі розглядається проектування гострозаточених фрез з прямолінійними різальними кромками. Їх заточування здійснюється по задніх поверхнях, за якими, головним чином, відбувається їх зношення. Залежності для визначення параметрів зубів та зовнішнього діаметру обкатної фрези з урахуванням переточок наведені в табл. 2.

Залежно від загальної кількості зубів та кількості зубів у групі відрізної пили радіуси кривизни перехідних кривих, які утворюються при обробці западини зуба, приймають певні значення, величини яких можуть бути більші або менші ніж нормовані радіуси заокруглення западини зуба.

За виведеними залежностями розраховано розміри перехідних кривих та встановлено, що найбільший вплив на розміри перехідної кривої має загальне число зубів відрізної пили. Розмір радіуса кривизни перехідної кривої різко зростає при зменшенні загального числа зубів пили. При одному і тому ж діаметрі відрізної пили на розміри перехідних кривих впливає число зубів у групі та товщина заготовки. Зі збільшенням числа зубів у групі перехідні криві зменшуються, а при збільшенні товщини диску заготовки відрізної пили – збільшуються. Відповідно до цього установка осі обкатної фрези до осі пили є прийнятною для обробки не всіх типорозмірів пил.

Таблиця 2 – Зовнішній діаметр обкатної фрези з урахуванням переточок

Мінімальний розрахунковий зовнішній діаметр, мм	згідно (13)
Допустима висота зуба, мм	$h_{\phi} = 0.3 \cdot \frac{\pi \cdot D_{0\min}}{Z_0}$
Мінімальна кількість допустимих переточок	$K_{\min} = 0.5 \cdot \frac{D_{0\min}}{Z_0}$
Зовнішній діаметр з урахуванням переточок, мм	$D_{\phi\min} = \frac{D_{0\min} \cdot (Z_0 + 0.471)}{Z_0}$

Розробка конструкції дискових обкатних фрез включає також визначення координат базових точок різальних кромок фрези, визначення радіуса кожного її зуба та їх зміщення відносно один одного.

Координати базових точок  $A$ ,  $B$  і  $C$  різальних кромок фрези залежать від її установки відносно осі пили та визначаються на основі розрахунку відповідних точок профіля стружкових канавок пили. В розділі наведені порядок розрахунку точок різальних кромок фрези при різних установках її відносно пили.

Розташування зубів фрези залежить від величини нерівномірності  $\varepsilon_i$  зубів між собою, так і від зміщення точок  $B$  та  $C$  з координатами  $X$  та  $Y$  різальної кромки (рис. 4).

Зміщення за координатою  $Y$  визначає зміщення радіуса вершин зубів  $\Delta R_{\phi}$ . Параметри розташування зубів та їх вершин обчислюються за формулами:

$$\varepsilon_{\phi i} = \frac{\varepsilon_i \cdot Z}{Z_{gr}} \quad (15)$$

$$\Delta R_{\phi i} = Y_{B1} - Y_{Bi} \quad (16)$$

$$B_{\phi i} = X_A - X_{Bi} \quad (17)$$

На основі виведених залежностей та за рекомендаціями розроблена конструкція обкатної фрези для обробки відрізних пил з числом зубів у групі  $Z_{gr}=4$  та нерівномірністю  $\Delta=30\%$  (рис.4).

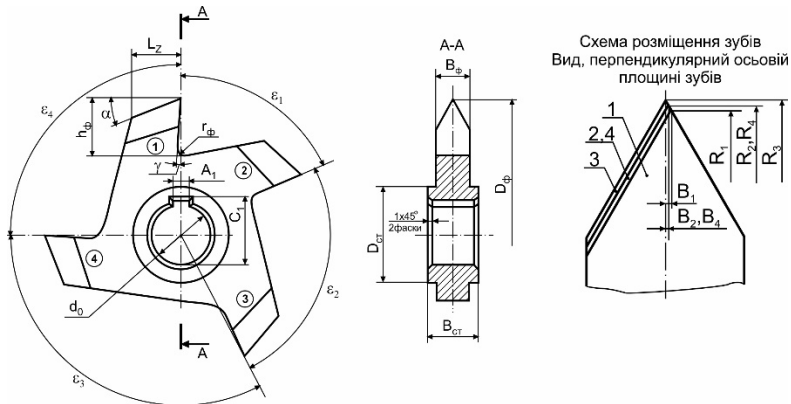


Рисунок 4 – Дискава обкатна фреза  $Z_0=4$

У четвертому розділі розглянуто геометричні параметри різальної частини обкатної фрези в процесі роботи. Показано, що ці параметри треба розглядати в кінематичній системі координат. Виведені залежності для розрахунку кінематичних геометричних параметрів різальної частини обкатної фрези та досліджено зміну цих параметрів в процесі її роботи.

При виведенні залежностей розрахунку геометричних параметрів за головний рух приймався обертальний рух обкатної фрези. Результуючий рух визначався сумою головного руху  $\bar{V}$  та руху подачі  $\bar{V}_S$ :

$$\bar{V}_e = \bar{V} + \bar{V}_S \quad (18)$$

При обкатці рух подачі  $\bar{V}_S = \bar{S} + \bar{V}_{o6}$  являє собою складний рух, який включає безпосередньо осьову подачу заготовки  $\bar{S}$  та обкатний обертальний рух  $\bar{V}_{o6}$ . Внаслідок малої величини осьової подачі  $\bar{S}$  при визначенні залежностей для розрахунку геометричних параметрів її значення не враховувалось.

При розрахунку геометричних параметрів на різальних кромках зубів дискової обкатної фрези в процесі її роботи було розглянуто положення кожного її зуба з  $\gamma_6=6^\circ$  та  $\alpha_6=10^\circ$  в момент повного врзання в заготовку при обробці відрізних пил з  $Z_{gr}=4$  та  $Z_{gr}=6$ ,  $Z=48 \div 200$ .



Рисунок 5 – Профілюючі ділянки різальних кромки зуба обкатної фрези

розраховані та побудовані графіки зміни геометричних параметрів різальної частини зубів обкатної фрези від параметрів оброблюваної відрізної пили і епюри їх зміни вздовж різальних кромки зубів фрези.

Зміни кутів досліджувались в залежності від загального числа зубів  $Z$ , числа зубів у групі  $Z_{gr}$  та переднього кута  $\gamma$  оброблюваної відрізної пили.

Кут в плані  $\varphi$  (рис.6) було розраховано за залежністю:

$$\cos \varphi_k = \frac{(\overline{N}_{mk} \cdot \overline{N}_s)}{|\overline{N}_{mk}| \cdot |\overline{N}_s|}, \quad (19)$$

де  $\overline{N}_{mk}$  – вектор нормалі до кінематичної площини різання;

$\overline{N}_3$  – вектор нормалі до задньої поверхні.

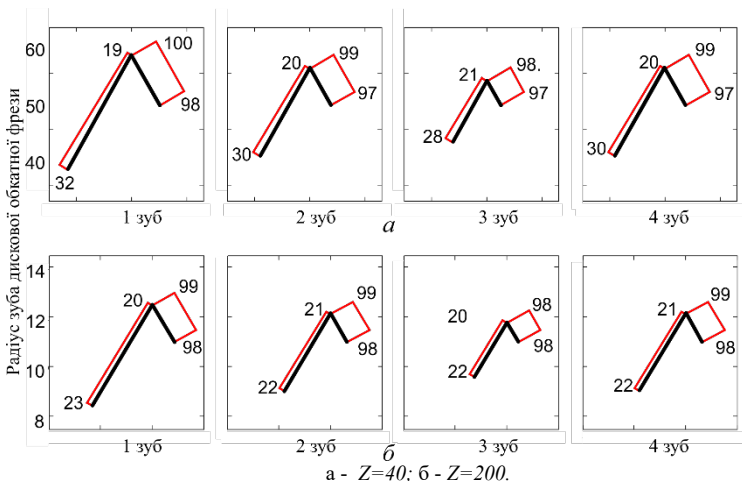


Рисунок 6 – Епюри зміни кута в плані  $\varphi_k^\circ$  вздовж різальних кромки для кожного зуба фрези при  $D=250\text{мм}$ ,  $Z_{gr}=4$  та  $\gamma=10^\circ$

За результатами аналізу (рис.6) одна з різальних кромки (позначена як  $MK$  на рис. 5) бере участь в процесі різання більш активно (більше значення кута  $\varphi$ ) і буде зрізати більше матеріалу при обробці канавки зуба пили, ніж

Досліджувались зміни кутів на правій різальній кромці кожного зуба –  $MK$ , яка обробляє передню поверхню відрізної пили та лівій –  $ML$ , що обробляє потиличну (рис.5). В якості базових точок на різальній кромці розглядалися вершинна точка  $M$  та дві граничні точки – точка  $K$  та  $L$ . За допомогою програм MathCad та Microsoft Excel за виведеними залежностями були

друга різальна кромка.

Передній кут  $\gamma$  (рис.7) розраховувався за залежністю:

$$\operatorname{tg} \gamma_{nk} = \frac{\bar{N}_{nk} \cdot \bar{N}_{II}}{|\bar{N}_{nk} \times \bar{N}_{II}|}, \quad (20)$$

де  $\bar{N}_{II}$  – вектор нормалі до передньої поверхні.

Результати розрахунків свідчать, що при збільшенні числа зубів відрізної пили передній кут незначно зростає. При цьому слід зауважити, що характер зміни переднього кута відносно інструментальних значень на різальних кромках різний. На правій різальній кромці він має додатні значення, а на лівій – незначні від’ємні при кількості зубів у групі  $Z_{gr}=4$ .

Як показали розрахунки, зі збільшенням числа зубів у групі геометрія передньої поверхні в кінематичній системі координат стає більш сприятливою. Передні кути приймають позитивні значення на обох різальних кромках.

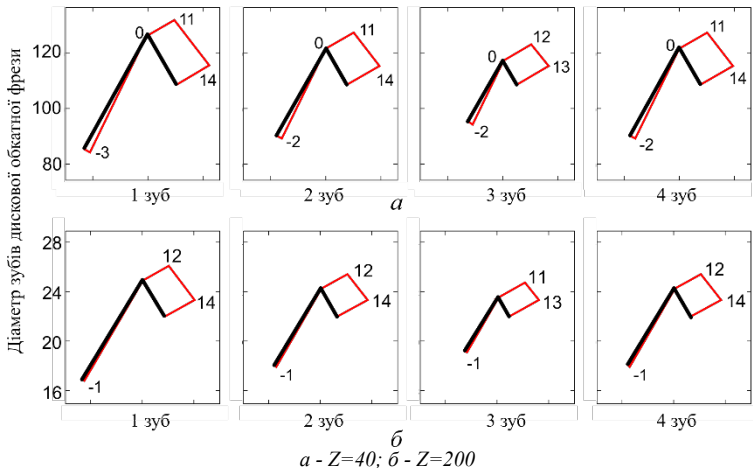


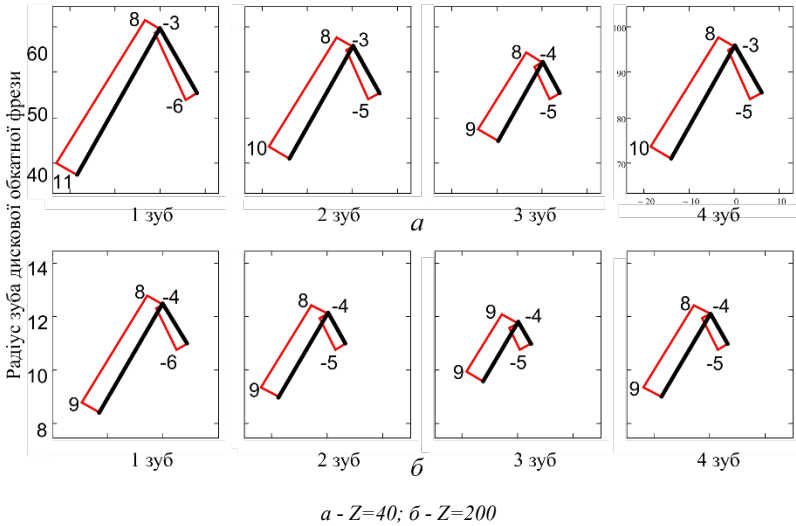
Рисунок 7 – Епюри зміни передніх кутів  $\gamma_{nk}^{\circ}$ , вздовж різальних кромок кожного зуба фрези при  $D=250\text{мм}$ ,  $Z_{gr}=4$  та  $\gamma=10^{\circ}$

Задній кут  $\alpha$  (рис.8) розраховувався за залежністю:

$$\cos \alpha_{nk} = \frac{(\bar{N}_{nk} \cdot \bar{N}_3)}{|\bar{N}_{nk}| \cdot |\bar{N}_3|} \quad (21)$$

Дослідження змін задніх кутів в процесі роботи обкатної фрези показало, що при збільшенні числа зубів виробу задній кут зростає. Характер зміни заднього кута відносно інструментальних значень на бічних різальних кромках різний. На лівій різальній кромці він має додатні значення, а на правій – від’ємні. За рекомендаціями мінімальне значення заднього кута повинно бути не менше  $3^{\circ} \dots 4^{\circ}$ . В процесі різання, при прийнятному задньому куті в вершинній точці  $\alpha_a=10^{\circ}$ , задній кут на одній з бічних різальних кромок має додатні

значення і на ній будуть створені нормальні умови стружкоутворення, а на другий - несприятливі, тобто буде спостерігатися затирання або підрізання задньою поверхнею фрези оброблювальної поверхні канавки відрізняючої пили.



$a - Z=40; b - Z=200$

Рисунок 8 – Епюри зміни задніх кутів  $\alpha_{nk}^{\circ}$ , вздовж різальних кромек кожного зуба фрези при  $D=250\text{мм}$ ,  $Z_{gr}=4$  та  $\gamma=10^{\circ}$  ( $\alpha_b=10^{\circ}$ )

Якщо ж прийняти велике значення заднього кута  $\alpha_b$ , то на одній різальній кромці задній кут прийме достатні додатні значення, але на другий він буде надмірно великим, що так само несприятливо. Доведено, що доцільно проводити заточування по задніх поверхнях фрези при обробці відрізняючих пил з  $Z_{gr}=4$  під різними задніми кутами  $\alpha_{Nnp}=15^{\circ}$ ,  $\alpha_{Nlie}=5^{\circ}$  (рис.9).

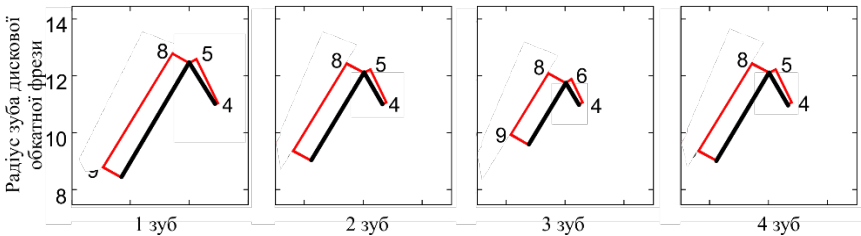
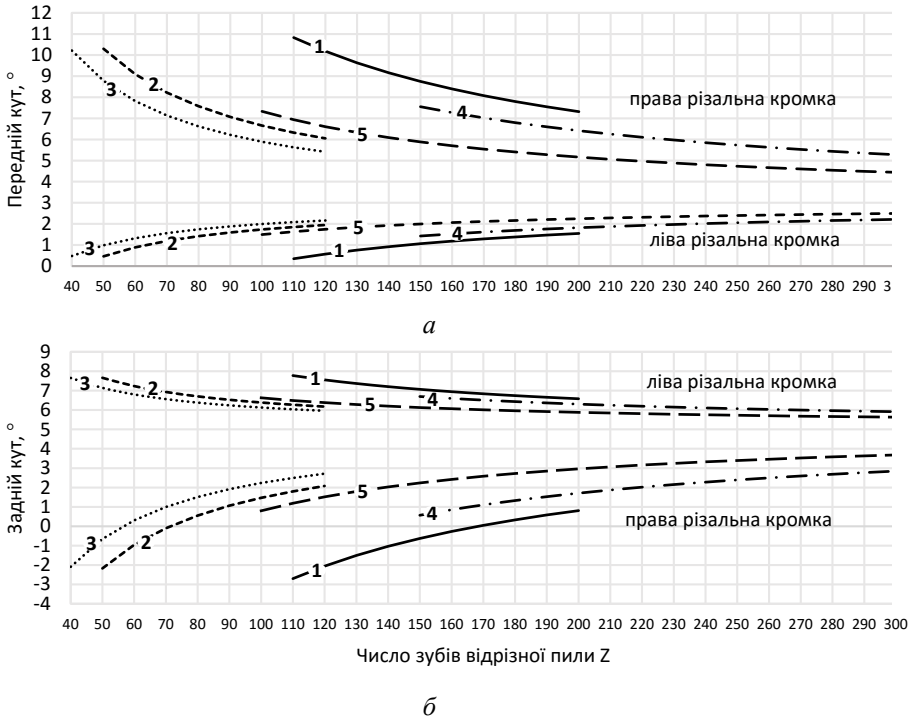


Рисунок 9 – Епюри зміни задніх кутів дискової обкатної фрези вздовж різальних кромек при заточуванні задніх поверхнь зубів під різними кутами  $\alpha_{Nnp}=15^{\circ}$ ,  $\alpha_{Nlie}=5^{\circ}$  при  $D=250\text{мм}$ ,  $Z_{gr}=4$  та  $\gamma=10^{\circ}$

Як показали розрахунки, збільшення числа зубів в групі сприятливо позначається на зміні задніх кутів  $\alpha$ . Тому для  $Z_{gr}=6$  або  $Z_{gr}=8$  заточування по задніх поверхнях слід проводити з однаковими задніми кутами  $\alpha_b=12^{\circ}-15^{\circ}$ , при цьому більші його значення обирати при обробці відрізняючих пил з  $Z_{gr}=6$ .

Проведений аналіз змін передніх та задніх кутів в залежності від обраного діаметра дискової обкатної фрези показав, що зі збільшенням діаметра обкатної фрези геометрія передньої (рис.10, а) та задньої поверхні (рис.10, б) стає більш сприятливою за обома різальними кромками.



1.  $Z=48$ ,  $D_{\text{фmin}}=105\text{мм}$ ; 2.  $Z=120$ ,  $D_{\text{фmin}}=42\text{мм}$ ; 3.  $Z=192$ ,  $D_{\text{фmin}}=26\text{мм}$ ; 4.  $Z=120$ ,  $D_{\text{фmin}}=146\text{мм}$ ;  
5.  $Z=192$ ,  $D_{\text{фmin}}=91\text{мм}$ .

Рисунок 10 – Зміна передніх та задніх кутів дискової обкатної фрези вздовж різальних кромок в процесі її роботи

У п'ятому розділі викладені результати лабораторно-промислової перевірки результатів дослідження при нарізанні зубів дрібнозубих дискових відрізняючих пил з нерівномірним кроком в групі.

Вони спрямовані на перевірку теоретичних залежностей для визначення конструктивних та установочних параметрів при нарізанні пил з нерівномірним кроком заданої точності на зубофрезерному верстаті.

Промислові випробування передбачали визначення перспективності нарізання зубів дискових пил з нерівномірним кроком обкатними дисковими фрезами порівняно зі способами по методу копіювання.

Перевірка результатів теоретичних досліджень здійснювалась на незагартованих заготовках  $\varnothing 215\text{мм}$ , с попередньо обробленими торцями, на яких нарізувались групи зубів остаточних розмірів.

Як показали розрахунки та дослідження геометрії різальної частини обкатних фрез в процесі роботи, найбільш несприятливим геометричними параметрами характеризується робота фрез с числом зубів  $Z_0=4$ . Тому для виготовлення була обрана відрізна пила з загальним числом зубів  $Z=96$ , числом зубів в групі  $Z_{gr}=4$ , нерівномірністю зубів у групі  $\Delta=30\%$  та товщиною  $B=2,6\text{ мм}$ .

Для виготовлення цієї пили обрана обкатна фреза діаметром  $D_\phi=132\text{ мм}$ .

У відповідності до розробленої методики проведені лабораторні випробування.

Після нарізання зубів пили здійснена серія вимірів параметрів ( $\gamma, \theta, \varepsilon_i, R, r$ ). Результати вимірювань після статистичної обробки наведені в роботі. Вони підтвердили положення теоретичних досліджень, які покладені в основу розробки методики проектування дискових обкатних фрез.

Показано, що розроблена теорія являє собою основу розробки обкатних фрез, осі яких встановлюються перпендикулярно до осей оброблюваних пил для обробки будь-якого профілю зубів пили та програм для їх виготовлення на верстатах з ЧПК.

Методика проектування дискових обкатних фрез для обробки пил з нерівномірним кроком знайшла своє відображення в структурній схемі САПР обкатних фрез. Для реалізації автоматизованого проектування фрез розроблені відповідні рекомендації.

Рекомендаціями передбачена розробка алгоритму та програми для створення тривимірної моделі, наведені рекомендації з визначення нерівномірності кроку, вибору значень нормованого радіуса западин стружкових канавок та вибору конструктивних параметрів, які залежать від діаметру обкатної фрези.

В умовах ТОВ «Вінницький інструментальний завод» за рекомендаціями виготовлені дискові обкатні фрези з нерівномірним кроком (нерівномірність  $\Delta=30\%$ ) і числом зубів в групі  $Z_{gr}=4$  та  $Z_{gr}=6$ . Точність по кроку не перевищувала  $\pm 6'$  при нормі за ДСТУ ISO 2768-1-2001 –  $\pm 20'$ .

На підприємстві ТОВ «Костянтинівський завод механічного обладнання» з використанням алгоритму та програми створена параметрична модель фрези. В програмі SolidWorks побудована 3D модель та креслення фрези діаметром  $D_\phi=90\text{ мм}$  з числом зубів в групі  $Z_{gr}=4$  та  $\Delta=30\%$ .

За кресленням виготовлена фреза, якою на зубофрезерному верстаті оброблена відрізна пила. Проведена на підприємстві ТОВ «Костянтинівський завод механічного обладнання» перевірка результатів досліджень підтвердила їх достовірність.

Розроблений та запатентований спосіб на основі методу обкочування (патент № 104229 Україна), його реалізація забезпечується розробкою дискової обкатної фрези (патент № 106173 Україна).

## ВИСНОВКИ

1. Вперше на основі загальної теорії формоутворення поверхонь розроблена теорія проектування дискових обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком в групі, яка полягає в визначенні:
  - координат точок різальних кромки фрези для нарізання зубів пил прямолінійного профіля при різних її установках відносно осі пили;
  - залежності для розрахунку мінімально допустимого діаметра фрези в залежності від конструктивних параметрів різальної частини відрізної пили;
  - установчих параметрів обкатної фрези відносно осі оброблюваної пили та радіусів перехідних кривих, що відповідають радіусам западин стружкових канавок фрези.
2. Показано, що кількість зубів дискових обкатних фрез, розташування їх різальних кромки та глибина стружкових канавок визначається кількістю зубів в групі з нерівномірним кроком та параметрами нерівномірності.
3. Вперше на прикладі обробки пил з дрібним зубом та нерівномірним кроком розроблена дискова обкатна фреза. При розробці конструкції визначені параметри нерівномірності кроків в групі. На основі дослідження характеру зміни мінімального допустимого діаметра фрези від конструктивних параметрів відрізної пили встановлені залежності для визначення зовнішнього діаметра фрези з урахуванням переточок.
4. Встановлено, що на значення радіуса перехідних кривих в найбільшій мірі впливає кількість зубів пили, її діаметр та ширина.
5. Вперше отримані залежності для розрахунку геометричних параметрів зубів дискової обкатної фрези в процесі її роботи, які дозволяють визначити геометрію різальної кромки фрези в будь-якій точці і в довільний момент часу її роботи. На основі цих залежностей встановлено, що кінематичні кути в нормальному перерізі вздовж різальної кромки залежать від числа зубів нарізаного виробу, числа зубів в групі, переднього кута відрізної фрези та діаметра обкатної фрези.
6. Встановлено, що зміна передніх  $\gamma$  та задніх  $\alpha$  кутів вздовж різальних кромки фрези носить прямо протилежний характер. При обробці різальною кромкою передньої поверхні пили кут  $\gamma$  збільшується і зменшується при обробці потиличної і навпаки – кут  $\alpha$  зменшується при обробці передньої поверхні, досягаючи від'ємних значень та збільшується при обробці потиличної. Для забезпечення сприятливої геометрії вздовж різальних кромки в процесі роботи фрези  $Z_0=4$  рекомендовано їх заточувати з різними нормальними кутами:  $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$  та  $\alpha_{Nna} = 5^\circ$ .
7. Проведені лабораторні випробування при нарізанні зубів дрібнозубих дискових відрізних пил з нерівномірним кроком в групі підтвердили результати теоретичних досліджень. Показано, що точність за кроком оброблених дискових відрізних пил з нерівномірним кроком значно перевищує точність порівняно зі способами копіювання.

8. Вперше розроблена методика проектування обкатних фрез з нерівномірним кроком, яка знайшла відображення в запропонованій схемі САПР фрез. Показано, що розроблені алгоритм та програма для створення параметричної моделі є основою побудови твердотільної 3D моделі для розробки виготовлення фрез в автоматизованому виробництві та для виготовлення креслень фрез.
9. Результати промислової перевірки результатів досліджень проведені на виробництві ТОВ «Вінницькій інструментальний завод» та ТОВ «Костянтинівський завод механічного обладнання». В умовах Вінницького інструментального заводу були виготовлені дві фрези з  $Z_0=4$  та  $Z_0=6$  та нерівномірністю кроку  $\Delta=30\%$ , якими нарізані відрізни пили. Похибка за кроком відрізних пил  $D=200\text{мм}$  не перевищувала  $\pm 6'$  при нормативі  $-\pm 20'$ . На підприємстві ТОВ «Костянтинівський завод механічного обладнання» з використанням алгоритму та програми автоматизованого проектування створено креслення фрези  $D_f=90\text{ мм}$  з числом зубів в групі  $Z_{gr}=4$  та  $\Delta=30\%$ , за якими виготовлена фреза. За результатами випробувань похибка за кроком нарізаних відрізних пил не перевищувала  $\pm 5'$ , радіуси западин стружкових канавок лежать в межах  $0.35\pm 0,04\text{ мм}$ , що відповідає допустимому значенню за стандартом.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Равская Н.С., Бабенко А.Е., Боронко О.А., Парненко В.С. Проектирование прогрессивных конструкций дисковых пил с неравномерным шагом зубьев. Донецкий государственный технический университет. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Донецк, 2000. №13. С. 134-137. *(Здобувачем проаналізовано результати експериментальних досліджень)*.
2. Бабенко А.С., Равська Н.С., Боронко О.О., Парненко В.С. Про вплив на колювання фрези кута нахилу зубців. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Житомир, 2000. №12. С.49-54. *(Здобувачем узагальнено отримані результати)*.
3. Бабенко А.С., Боронко О.О., Парненко В.С. Вимушені колювання дискової фрези. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Житомир, 2001. №18. С. 28-32. *(Здобувачем узагальнено експериментальні дослідження)*.
4. Парненко В.С. Расчет параметров впадин обкаточных дисковых фрез для изготовления пил с неравномерным шагом. Вестник Национального Технического Университета Украины "КПИ", серия Машиностроение. Киев, 2014. №72. С.152-155. *(наукометрични бази Index Copernicus, Google Scholar)*
5. Парненко В.С. Классификация изделий машиностроения прямолинейного профиля зубьев. «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». Міжнародний збірник наукових праць Донецького Національного Технічного Університету. Донецьк, 2014. №2 (48). С.29-37 *(наукометрична база РІНЦ)*

6. Равська Н.С., Парненко В.С. Дослідження геометрії задньої поверхні різальної частини дискових обкатних фрез з нерівномірним кроком. Науковий журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Київ, 2018. Том 29 (68). № 2. С.19-23. *(Здобувачем виведені залежності для дослідження геометрії задньої поверхні в процесі роботи обкатної фрези).*
7. Спосіб нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів: пат. у 2015 02233 Україна: МПК (2016.01), B23F 5/00. № 104229; заявл. 13.03.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл. № 2. 4 с. *(Участь співавторів у створенні корисної моделі рівноцінна).*
8. Обкочувальна фреза для нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів: пат. у 2015 07365 Україна: МПК (2016.01), B23F 5/00. №106173; заявл. 22.07.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл.№ 8. 4 с. *(Участь співавторів у створенні корисної моделі рівноцінна).*
9. Равська Н.С., Парненко В.С. Визначення статичних передніх і задніх кутів фасонної обкатної фрези у вершинної точки її ріжучої кромки. Збірник наукових праць. «Перспективні технології та прилади». Луцьк, 2016. №8. С.95-97. *(Здобувачем виведені залежності для дослідження зміни передніх та задніх статичних кутів обкатної фрези).*
10. Бабенко А.Е., Боронко О.А., Лорох Р., Парненко В.С. Влияние наклона зубьев фрезы на ее динамические характеристики. II Міжнародна конференція: Прогресивна техніка і технологія – 2001. (м. Севастополь, 28 черв. - 2 лип. 2001). Київ – Севастополь. 2001. С.77.
11. Парненко В.С. Определение формы режущей кромки обкаточной фрезы при взаимоперпендикулярных осях заготовки и инструмента. Сборник трудов XIX международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике». (г. Новосибирск, 20 марта 2013). Новосибирск, 2013. С.39-46.
12. Парненко В.С. Анализ способов обработки дисковых многозубых инструментов. Сборник трудов XXXII международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике». (г. Новосибирск, 19 марта 2014). Новосибирск, 2014. №3 (28). С.28-34.
13. Парненко В.С. Методика розрахунку кута повороту інструменту другого порядку для отримання визначеного нахилу зубів оброблюваного інструмента. Загально-університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Матеріали конференції. (м. Київ, 24 лют. 2014). Київ. 2014. С. 64-66.
14. Парненко В.С. Определение профиля зуба дисковой пилы, обрабатываемого дисковой обкаточной фрезой. Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції: Інноваційні підходи і сучасна наука. (м. Київ, 24 лют. 2015). Київ. 2015. С.46-48.
15. Парненко В.С. Методика расчета угла поворота инструмента второго порядка для получения определенного наклона зубьев обрабатываемых инструментов. Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної

- конференції: Наука в епоху дисбалансів. (м. Київ, 24 лют. 2016). Київ. 2016. С.95-97.
16. *Парненко В.С., Равська Н.С., Охрименко О.А.* Особливості виготовлення відрізних дискових фрез на зубофрезерному верстаті. XIV Міжнародна науково-технічна конференція: Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. (м. Краматорськ, 30 трав. - 1 черв. 2016 р.). Краматорськ. 2016. С.70-71. *(Здобувачем запропонований метод обробки на зубофрезерному верстаті).*
  17. *Парненко В.С., Равська Н.С.* Визначення кінематичного переднього кута зуба дискової обкатної фрези для обробки багатозубих виробів з нерівномірним кроком. XVII Міжнародна науково-технічна конференція: Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта. (м. Одеса, 21 черв. 2016р.). Одеса. 2016. С.249-250. *(Здобувачем виведені залежності для дослідження зміни передніх кінематичних кутів обкатної фрези).*
  18. *Равська Н.С., Парненко В.С.* Особливості заточки фасонних дискових обкатних фрез для обробки багатозубих виробів з нерівномірним кроком по задній поверхні. XV Міжнародна науково-технічна конференція: Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. (м. Краматорськ, 30 трав. – 1 черв. 2017 р.). Краматорськ. 2017. С.72-73. *(Здобувачем запропоновані доцільні задні кути заточки обкатної фрези при обробці багатозубого виробу з  $Z_{gr}=4$ ).*
  19. *Вовк В. В., Парненко В.С.* Дослідження кінематичних геометричних параметрів передньої поверхні дискової обкатної фрези. Збірник наукових праць за матеріалами III міжнародної конференції: Наука і сучасність: виклики глобалізації. (Київ, 31 трав. 2017 р.). Київ. 2017. С.73-80. *(Здобувачем дослідженні зміни передніх кутів обкатної фрези в процесі її роботи).*

## АНОТАЦІЯ

### **Парненко В.С. Дискові обкатні фрези для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена питанням розробки дискових обкатних фрез для виготовлення відрізних пил з нерівномірним кроком заданого профілю стружкових канавок та з забезпеченням точності за кроком.

На основі загальних положень теорії формоутворення поверхонь обкатними фрезами розроблена теорія проектування обкатних фрез для обробки відрізних пил з нерівномірним кроком у групі. На базі розробленої теорії їх проектування розроблена конструкція обкатної фрези. Досліджені геометричні параметри різальної частини в процесі роботи обкатної фрези та вплив на них конструктивних параметрів відрізних пил.

Викладені результати лабораторно-промислової перевірки результатів дослідження, які спрямовані на перевірку теоретичних залежностей для визначення конструктивних та установочних параметрів при нарізанні пил з нерівномірним кроком заданої точності на зубофрезерному верстаті. Вперше розроблена методика проектування обкатних фрез з нерівномірним кроком, яка знайшла відображення в запропонованій схемі САПР фрез. Лабораторно-промислова перевірка результатів досліджень підтвердила результати теоретичних досліджень. Показано, що точність за кроком оброблених відрізних пил перевищує точність в порівнянні зі способами копіювання.

**Ключові слова:** дискові обкатні фрези, відрізні пили, фрези, нерівномірний крок, обкочування, обкатний рух, різальний інструмент, точність по кроку.

### АННОТАЦІЯ

**Парненко В.С. Дисковые обкаточные фрезы для обработки отрезных пил с неравномерным шагом. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 - процессы механической обработки, станки и инструменты. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена вопросам разработки дисковых обкаточных фрез для изготовления отрезных пил с неравномерным шагом заданного профиля стружечных канавок и с заданной точностью по шагу.

В работе проведен анализ различных форм зубьев отрезных пил и их конструктивных параметров, которые изготавливаются в соответствии со стандартами и предлагаются фирмами производителями, в том числе и пилы с неравномерным шагом. Рассмотрены области применения каждой конструкции, преимущества и недостатки. Пилы с неравномерным шагом по сравнению с другими обеспечивают снижение изгибных колебаний, результатом чего является снижение поломок и повышения режимов резания, что в свою очередь повышает работоспособность пилы и производительность их работы.

Проанализированы современные способы обработки многозубых изделий, к которым также относятся отрезные пилы. Эти способы основаны на методах обработки копированием, обкаткой и касания (обход по контуру на станках с ЧПУ). Для каждого из них рассмотрены схемы и задействованные при обработке зубов пил инструменты.

Обоснован выбор способа обработки зубов пил с неравномерным шагом дисковыми обкаточными фрезами, не требующий дополнительных затрат на приобретение специализированного оборудования с программным управлением при нарезке зубьев пил этой конструкции.

На основе общих положений теории формообразования поверхностей обкаточными фрезами разработана теория их проектирования для обработки

отрезных пил с неравномерным шагом в группе. На базе разработанной теории проектирования дисковых обкаточных фрез разработана конструкция фрезы.

В работе получены зависимости для расчета геометрических параметров зубьев дисковой обкаточной фрезы в процессе ее работы, которые позволяют определять геометрию режущей кромки фрезы в любой точке и в любой момент времени ее работы.

На основе этих зависимостей установлено, что кинематические углы вдоль режущей кромки зависят от числа зубьев нарезаемого изделия, числа зубьев в группе, переднего угла отрезной пилы и диаметра обкаточной фрезы. Для обеспечения благоприятной геометрии вдоль режущих кромок в процессе работы фрезы  $Z_0 = 4$  рекомендуется их затачивать с различными нормальными углами:  $\alpha_{N_{лег}} = 15^\circ$  и  $\alpha_{N_{тп}} = 5^\circ$ .

Впервые разработана методика проектирования обкаточных фрез с неравномерным шагом, которая нашла отражение в предложенной схеме САПР фрез. Показано, что разработанные алгоритм и программа для создания параметрической модели являются основой построения твердотельной 3D модели для изготовления фрез в автоматизированном производстве и для изготовления чертежей фрез.

Изложены результаты лабораторно-промышленной проверки результатов исследования, направленные на проверку теоретических зависимостей для определения конструктивных и установочных параметров при нарезке зубьев с неравномерным шагом заданной точности на зубофрезерном станке. Впервые разработана методика проектирования обкаточных фрез с неравномерным шагом, которая нашла отражение в предложенной схеме САПР фрез.

Лабораторно промышленная проверка результатов исследований подтвердила результаты теоретических исследований. Показано, что точность по шагу обработанных отрезных пил с неравномерным шагом значительно превышает точность по сравнению со способами копирования.

**Ключевые слова:** дисковые обкаточные фрезы, отрезные пилы, фрезы, неравномерный шаг, обкатка, обкаточное движение, режущий инструмент, точность по шагу.

#### ABSTRACT

**Parnenko V.S. The rolling disk shaped milling cutter for machining circular saw blades with variable pitch. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.**

The dissertation for the candidate degree of technical sciences on the specialty 05.03.01 - machining processes, machines and tools. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the issues of development the rolling disk shaped milling cutter for machining circular saw blades with variable pitch of a given profile of chip grooves and with a predetermined accuracy of pitch.

Based on the general provisions of the theory of shaping surfaces by rolling disk shaped milling cutter, a theory of their design has been developed for machining

cut-off saws with an uneven pitch in a group. Based on the developed theory the design of the rolling disk shaped milling cutter has been developed. The geometrical parameters of the cutting part have been investigated in the process of cutting and the influence on them of the design parameters of circular saw blades with variable pitch.

The results of laboratory and industrial verification of the research results are presented and aimed at verifying theoretical dependencies to determine the design and installation parameters when cutting teeth with variable pitch of a given accuracy on a gear milling machine. For the first time, a technique of designing round cutters with uneven pitch was developed, which was reflected in the proposed CAD cutter scheme. Laboratory and industrial verification of research results confirmed the results of theoretical studies. It is shown that the accuracy of the machined circular saw blades with variable pitch significantly exceeds the accuracy compared to copying methods.

**Key words:** the rolling disk shaped milling cutter, circular saw blades, cutters, variable pitch, running in, rolling movement, cutting tool, step accuracy.

Підписано до друку 18.04.2019 р. Формат 60x84/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл-вид. арк 0,9

Наклад 100 пим. Замовлення №479.

Віддруковано на різнографі в видавничому центрі «Принт-центр»

04053, м.Київ, вул. Січових Стрільців, 26А

Тел./факс:486-50-88,332-41-10,277-40-16

<http://www.printc.com.ua/> E-mail [printcenter@ukr.net](mailto:printcenter@ukr.net)