

УДК 621.9

## Розширення області застосування дискових відрізних фрез з різнонаправленими зубцями

**Равська Н.С., Родін Р.П., Івановський О.А., Майданюк С.В.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація.** В роботі проводиться аналіз конструкцій дискових відрізних фрез з різнонаправленими зубцями для відрізання заготовок з легких сплавів. Визначено, що в процесі роботи інструменту виникають зовнішні періодичні збуджуючі сили, що призводить до втрати динамічної стійкості інструменту. Головними чинниками цього виступають схема зрізання припуску, геометричні параметри та режими оброблення інструменту. Встановлено доцільність використання таких інструментів. На основі імітаційного моделювання, з використанням досліджень та положень в області різання металів, проведено дослідження області використання відрізних фрез з різнонаправленими зубцями, визначені рекомендації що до їх геометричних параметрів та режимів оброблення.*

***Ключові слова:** фреза дискова відрізна, нерівномірний крок зубців, різнонаправлені зубці, динамічна стійкість, задирки.*

В машинобудуванні широке використання одержало відрізання заготовок дисковими відрізними фрезами. Відповідності до міжнародного стандарту ГОСТ 2679-93 (ІСО 2296-72) "Фрезы прорезные и отрезные" вони виготовляються в діапазоні діаметрів 20...315 мм із товщиною диска 0,2...6 мм, які, згідно функціонального призначення, за ДСТУ 2233-93 називаються круглими пилками.

Відрізні фрези (круглі пилки) працюють в стиснених умовах, швидко зношуються і, підчас, ламаються через затиснення стружки в стружкових канавках інструменту.

Крім того, з точки зору динамічної стійкості в процесі відрізання заготовок, відрізні фрези – один із найбільш складних інструментів [1]. Це пов'язано як із конструкцією та способом закріплення на верстатах, так і з процесом різання, внаслідок якого виникають зовнішні періодичні збуджуючі сили при ударах зубців фрези в момент початку та закінчення роботи кожного зубця, що призводить до втрати динамічної стійкості та затірання фрези по зовнішньому ободу.

Підвищення динамічної стійкості було досягнуто за рахунок розробки відрізних фрез з нерівномірним кутовим кроком зубців у групі [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Розроблена теорія проектування таких фрез та різні способи їх виготовлення. Фрези з нерівномірним кроком зубців в групі забезпечують зниження згинальних коливань їх диска, що призводить до підвищення працездатності інструменту та продуктивності процесу відрізання.

Проте, незважаючи на переваги фрез з нерівномірним кроком зубців у групі, їх недоліком є неякісний зріз, що супроводжується значними задирками та потребує подальшого оброблення торців заготовок.

Цього недоліку позбавлені відрізні фрези з різнонаправленими зубцями [7]. Вони призначені для оброблення легких сплавів. Розташування та спеціальна форма зубців цих фрез забезпечують поділ стружки по ширині, що покращує процес стружкоутворення, забезпечуючи вільне видалення стружки в процесі різання та якісний зріз, без задирок. Водночас, характерною особливістю цих фрез є зношування та руйнування їх вістря, розташованого на зовнішньому діаметрі фрези. Саме це і обмежує їх використання.

З метою розширення області використання фрез з різнонаправленими зубцями для відрізання широкої гама профілів з різних металів і сплавів були запропоновані різні конструкції їх різальної частини. Основні з них, розроблені в КПІ ім. Ігоря Сікорського, наведені на рис. 1.

Так в конструкції різальної частини відрізної фрези [8] (рис. 1, а) стружкові канавки на різних різальних зубцях виконані з різним напрямком нахилу та мають форму

фасонних циліндричних або плоских поверхонь, твірні яких розташовані під нахилом до осі фрези з кутом  $\eta$ , з різним напрямком на суміжних зубцях, що забезпечує підвищення технологічності виготовлення фрез, а також спрощення наступних переточок.

В результаті перетину циліндричної задньої поверхні з заднім кутом  $\alpha$  та передньої площини з кутом  $\gamma$  утворюються різальні кромки з кутом в плані  $\varphi$ , причому  $\varphi < 90^\circ$ .

Геометричні параметри фрези пов'язані між собою співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha + \gamma) \cdot \operatorname{ctg} \eta}{\cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)},$$

де  $\varepsilon = \frac{360^\circ}{z}$  – кутовий крок зубців,

$z$  – кількість зубців фрези.

Відрізна фреза [9] (рис. 1, б) є модифікацією попередньої конструкції та відрізняється тим, що зубці на робочій частині розміщені групами по три зубці в кожній, причому стружкові канавки в групі зубців створюються з різними кутами нахилу  $+\eta$ ,  $0^\circ$ ,  $-\eta$ .

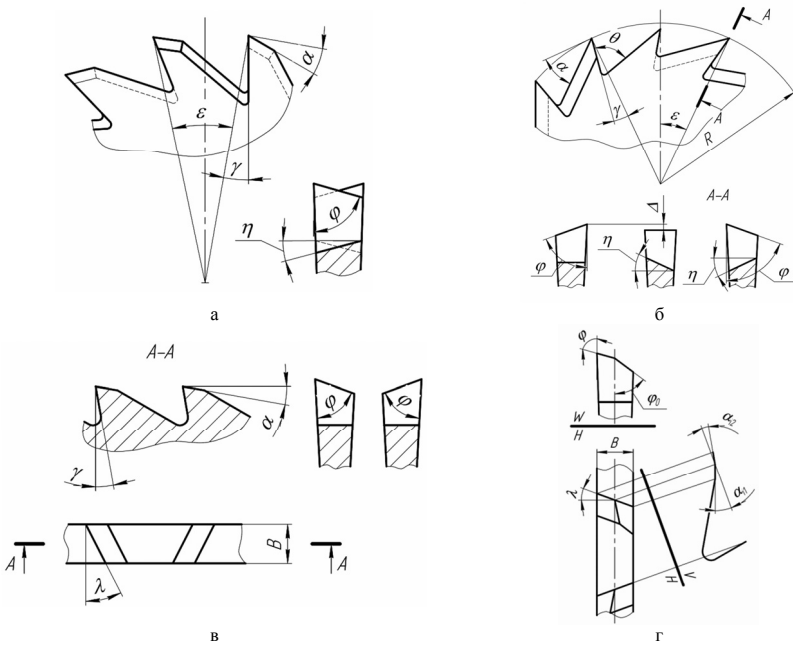


Рис.1 – Конструкції різальної частини дискових відрізнних фрез з різнонаправленими зубцями

Завдяки такій різній формі стружкових канавок на зубцях створюються різні кути в плані  $\varphi$ , які визначаються зі співвідношення:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha + \gamma) \cdot \operatorname{ctg} \eta}{\cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}.$$

В результаті цього перший та третій зубці в групі підрізають матеріал заготовки, а другий зубець виконує основну роботу різання, при цьому його радіус зменшують на величину  $\Delta$ , в порівнянні з радіусами першого та третього зубців.

Фреза [10] (рис. 1, в) виконується з різнонаправленими зубцями, які утворюються за рахунок створення на суміжних зубцях різних за знаком та відмінних від  $90^\circ$  кутів в плані  $\varphi$ . Для цього необхідно на суміжних зубцях вибирати різні за знаком кути нахилу різальної кромки  $\lambda$ : на одному зубці додатні ( $+\lambda$ ), а на суміжному від'ємні ( $-\lambda$ ).

Кут нахилу різальної кромки  $\lambda$  вибирається за залежністю:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{2 \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma}$$

Відрізна фреза [11] (рис. 1, г) є модифікацією попередньої конструкції, яка відрізняється наявністю ламаної різальної кромки різнонаправлених зубців, яка на різних ділянках має різні кути в плані  $\varphi$  та  $\varphi_0$ , які на сусідніх зубцях виконуються попарно різного знаку, визначаючи цим їх різнонаправленість.

Задні поверхні зубця розташовані під різними кутами  $\alpha_{i1}$  та  $\alpha_{i2}$  причому кут  $\alpha_{i2}$  утворений фаскою змінної величини. Співвідношення між геометричними параметрами зубця визначаються за залежностями:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{2 \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \alpha_{i2} \cdot \cos \gamma}, \quad \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{2 \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \alpha_{i1} \cdot \cos \gamma}$$

Аналіз наведених конструкцій показує, що у фрез з різнонаправленими зубцями головний кут в плані  $\varphi$  визначається геометричними параметрами різальної частини таких фрез. Зміна будь-якого з геометричних параметрів призводить до зміни кута  $\varphi$ , від якого залежить завантаження різальної кромки. Змінюючи геометричні параметри, при заданих умовах відрізання (оброблюваний матеріал, стан обладнання для відрізання, профіль заготовки тощо) можна змінювати навантаження на зубець фрези, яке визначається силою різання.

В роботі, на прикладі конструкції (рис. 1, в), встановлений взаємний вплив кожного з геометричних параметрів на сили різання. На основі застосування методу скінчених елементів визначені навантаження вздовж різальної кромки, в залежності від геометричних параметрів зубців фрези та режимів оброблення.

Розроблена імітаційна модель процесу відрізання дисковими відрізними фрезами, з врахуванням особливостей процесу відрізання, форми та матеріалу заготовки дає змогу рекомендувати геометричні параметри інструменту та відповідні режими оброблення, з умовою отримання найбільшої продуктивності та найкращої якості оброблення поверхонь деталі, в залежності від вимог до процесу відрізання (чорнове або чистове оброблення).

Аналіз робочої частини відрізнних фрез з різнонаправленими зубцями та дослідження їх роботи показали перспективність використання даного інструменту.

В роботі, на основі імітаційного моделювання, з використанням досліджень та положень в області різання металів [12, 13], проведено дослідження області використання відрізнних фрез з різнонаправленими зубцями, виведені рекомендації що до їх геометричних параметрів та режимів оброблення.

## Expansion of the field of application circular saws with alternate teeth

Ravska N., Rodin R., Ivanovskiy O., Maidaniuk S.

*Abstract. In this scientific article, we analyze structural disk cutting-off saw with alternate teeth for cutting blanks from light alloys. It was determined that in the process of tool operation external periodic exciting force arise, which leads to a loss of the dynamic stability of the tool. The basic factors are the scheme for shearing envelope of*

*metal, geometric parameters and process conditions. The ideal model for the use of such a tool is defined. Thanks to the creation of simulation modeling using research and provisions in the time-domain processing for metal, a study was conducted on the use of disk cutting-off, and recommendations on geometrical parameters and process conditions.*

*Keywords:* slitting saw, uneven tooth pitch, alternate teeth, dynamic stability, burrs

## **Расширение области применения дисковых отрезных фрез с разнонаправленными зубьями**

**Равская Н.С., Родин Р.П., Ивановский А.А., Майданюк С.В.**

*Анотация.* В работе проводится анализ конструкций дисковых отрезных фрез с разнонаправленными зубьями для отрезания заготовок из легких сплавов. Определено, что в процессе работы инструмента возникают внешние периодические возбуждающие силы, что приводит к потере динамической устойчивости инструмента. Главными факторами этого выступают схема среза припуска, геометрические параметры и режимы обработки инструмента. Установлена целесообразность использования таких инструментов. На основе имитационного моделирования с использованием исследований и положений в области резания металлов, проведено исследование области использования отрезных фрез с разнонаправленными зубьями, выведены рекомендации по геометрическим параметрам и режимам обработки.

*Ключевые слова:* фреза дисковая отрезная, неравномерный шаг зубьев, разнонаправленные зубья, динамическая устойчивость, заусенцы.

### **Список літератури:**

1. *Родин П.Р. Дисковые пилы с неравномерным шагом* [Текст]: монография / П.Р. Родин, Н.С. Равская, А.Е. Бабенко, О.А. Боронко. – К.: НТУУ «КПИ». – 2008. – 216 с.
2. *Бабенко А. Е. Вимушені коливання дискової фрези* / А.С. Бабенко, О.О. Боронко, В.С. Парненко // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2001. – Випуск 18. – С. 28-32.
3. *Равская Н. С. Проектирование прогрессивных конструкций дисковых пил с неравномерным шагом* / Н.С. Равская, А.Е. Бабенко, О.А. Боронко, В.С. Парненко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2000. – № 13. – С. 134–137.
4. *Семенов А. В. Разработка дисковых пил с неравномерным шагом: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Семенов Александр Витальевич.* – К., 1998. – 194 с.
5. *Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: Дис.... кандидата техн. наук: 05.03.01 / Лорох Роланд.* – К., 1998. – 231 с.
6. *Равская Н. С. Особенности проектирования и изготовления дисковых отрезных пил с неравномерным шагом* / Н.С. Равская, Р. Лорох // Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва: міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 100-річчю механіко-машинобудівного і 50-річчю зварювального факультетів: статті. – К., 1998. – Т. 1. – С. 360–364.
7. *Бабенко А. Е. Про вплив на коливання фрези кута нахилу зубців* / А.Е. Бабенко, Н.С. Равська, О.О. Боронко, В.С. Парненко // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2000р. – №12. – С.49-54.
8. *Пат. 55717 А Україна, МПК7 В 23 С 5/08. Фреза відрізна* / Н.С. Равська, Р.П. Родин, Б.В. Лупкін, В.Ю. Петренко; заявник і власник патенту Національний технічний університет України «КПИ» – № 2002054191; заявл. 22.05.2002; опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4.
9. *Пат. 62099 А Україна, МПК7 В 23 С 5/08. Фреза відрізна* / Б.В. Лупкін, О. В. Мамлюк, Н.С. Равська, Р.П. Родин; заявник і власник патенту Київський авіаційний технікум. – № 2002118707; заявл. 01.11.2002; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
10. *Пат. 28451 А Україна, МПК6 В 23 С 5/08. Фреза відрізна* / Н.С. Равська, Р.П. Родин, Л.І. Ковальова, В.С. Карпович, О.О. Хмельов (UA), Р. Лорох (DE); заявник і власник патенту Національний технічний університет України «КПИ» – №97031010; заявл. 06.03.1997; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.
11. *Пат. 28445 А Україна, МПК6 В 23 С 5/08 Фреза відрізна* / Н.С. Равська, Р.П. Родин, Л.І. Ковальова, В.С. Карпович, О.О. Хмельов (UA), Р. Лорох (DE) – № 97020864; заявл. 27.02.1997; опубл. 16.10.2000, Бюл. №5.
12. *Розенберг Ю. А. Силы резания и методы их определения: в 2 ч.* / Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман. – Курган: КМИ, 1995. – Ч. 1: Общие положения. – 1995. – 128 с.
13. *Розенберг Ю. А. Силы резания и методы их определения: в 2 ч.* / Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман. – Курган: КМИ, 1995. – Ч. 2: Расчет сил при различных видах обработки. – 1995. – 104 с.