

УДК 621.914.28

Розробка конструкції відрізних фрез з різнонаправленими зубцями

Майданюк С.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація.** Робота присвячена питанням підвищення продуктивності та якості поверхонь при відрізанні металевих заготовок відрізними фрезами за рахунок розробки конструкції відрізних фрез з різнонаправленими зубцями та визначення раціональних режимів оброблення. На основі загальних положень теорії різання та проектування різальних інструментів розроблена конструкція інструменту та досліджені геометричні параметри різальної частини в процесі його роботи. На основі теорії формоутворення поверхонь, розроблені методики визначення параметрів зрізаного шару за допомогою 3D моделювання з використанням систем твердотілого геометричного моделювання та аналітичного моделювання, досліджено параметри зрізаного шару, на основі яких визначено граничні режими оброблення та геометричні параметри інструмента. Проведені лабораторні випробування, спрямовані на перевірку теоретичних досліджень, дали змогу отримати аналітичні залежності характеристик процесу оброблення та якості отриманих деталей. Виробнича перевірка результатів досліджень підтвердила результати теоретичних досліджень.*

***Ключові слова:** дискові відрізні фрез; різнонаправлені зубці; геометричні параметри; зрізуваний шар; 3D моделювання; математичне моделювання; режими різання; сили різання; шорсткість поверхні.*

Відрізні фрези широко використовуються при відрізанні та розрізанні заготовок різної форми, розмірів та різних матеріалів на відрізних верстатах. Операції відрізання відносять до операцій попереднього оброблення, проте, з постійним підвищенням вимог до продуктивності та якості оброблених поверхонь, що висувають в авіаційній, автомобільній та космічній галузях промисловості, виникла задача удосконалення дискових відрізних фрез щоб задовольнити вимоги виробництва [1].

Дослідження дискових відрізних фрез та особливостей їх експлуатації, наведені в роботах Семьонова О.В. [2], Лороха Р. [3], Боронко О.О. [4], Панчука В.Г. [5] показали, що відрізні фрези характеризуються нестійкою динамічною стійкістю, за рахунок нестабільності процесу відрізання, що супроводжується різкими та нестабільними сплесками сил різання які викликають значні згинні коливання диску фрези.

На підставі досліджень Семьонова О.В. [2], Лороха Р. [3], Боронко О.О. [4] були розроблені відрізні фрези підвищеної динамічної стійкості, за рахунок використання в конструкції нерівномірного кроку зубців, які відзначаються підвищеною продуктивністю та кращою якістю оброблення.

Окрім того, дослідження Панчука В.Г. [5] показали, що на динамічні характеристики дискових відрізних фрез суттєво впливає схема зрізання припуску. За рахунок раціонального вибору схеми зрізання припуску можна не тільки зменшити, а й досягти більш стабільних, сил різання, що призводить до збільшення продуктивності та покращення якості оброблення.

Дослідження, наведені в роботі Балицької Н.О. [6], показали, що на динамічну стійкість прорізних фрез впливають як конструктивні та геометричні параметри інструмента так і режими різання, завдяки раціональному вибору яких можна досягти значного зменшення сил різання, кращої динамічної стійкості та, відповідно, значного підвищення продуктивності та якості оброблення.

Дослідження Кузнецова Ю. М., Чікіна С. В., Мачуги Р. І. [7] показали можливості підвищення продуктивності оброблення при відрізанні прутків і труб дисковими відрізними фрезами, за рахунок розподілу навантаження між зубцями інструмента та збільшення подачі.

Дослідження дискових відрізних фрез стандартних конструкцій [2 – 6] показали, що коливання сили різання відбувається внаслідок удару зубців в моменти початку та закінчення

процесу різання кожного окремого зубця, входу та виходу зубців, та являють собою результат процесу різання, тобто зрізання шару оброблюваного матеріалу. Відповідно, позбутися коливань сили різання неможливо, тому завдання, при удосконаленні конструкції фрези, полягає в тому, щоб зменшити не тільки величину сил різання, а й швидкість їх зміни та запобігти виникненню резонансних явищ в технологічній системі.

Таким чином, перспективним напрямом удосконалення процесу відрізання заготовок дисковими фрезами, що забезпечує підвищення продуктивності та якості оброблення, є застосування прогресивної схеми зрізання припуску, особливість якої полягає в тому, що зрізуваний шар матеріалу видаляють не кожним зубцем, а групою з декількох зубців, при цьому кожний зубець видаляє окремі вузькі та більш товсті шари матеріалу [5 – 7].

Інструментом, який працює за прогресивною схемою зрізання припуску є відрізнi фрези з різнонаправленими зубцями, у яких зубці об'єднані в групи та розташовуються в шаховому порядку з різним за знаком кутом нахилу зубців до осі фрези, внаслідок чого різальна кромка розташовується під кутами $\varphi \neq 90^\circ$ та $\lambda \neq 0^\circ$, що позитивно впливає на процес різання, оскільки умови роботи інструмента відповідають косокутному різанню, завдяки якому створюються раціональні умови стружкоутворення та стружковідведення, та дозволяє позбутися різання з тонкими зрізами, що призводить до зменшення сил різання та забезпечує плавне врізання зубця в заготовку та плавний його вихід, що забезпечує підвищення стійкості інструмента та покращення якості оброблених поверхонь. Окрім того, зубці розташовуються з різним кутовим кроком, що сприяє підвищенню динамічної стійкості фрез, за рахунок зменшення сил різання, продуктивності оброблення, за рахунок раціонального вибору режимів різання та геометричних параметрів інструмента, та якості оброблення, за рахунок якісного та надійного розділення стружки по ширині що забезпечує чистий зріз практично без сколів [8 – 11].

З технологічної точки зору, конструкція різальної частини відрізнних фрез з різнонаправленими зубцями є цілком технологічною, забезпечуючи простоту перезагострень в процесі їх експлуатації.

В роботі розглядаються питання дослідження геометричних параметрів різальної частини дискової відрізнної фрези з різнонаправленими зубцями в процесі їх роботи. Оскільки швидкість руху подачі фрези незрівнянно мала, в порівнянні зі швидкості головного руху різання фрези, з достатньою точністю, можна обмежитися визначенням геометрії фрези в статичній системі координат [12, 13].

Геометричні параметри фрези з різнонаправленими зубцями впливають на кутовий крок зубців, аналіз якого показав, що збільшення діаметра та кута в плані φ і зменшення кута нахилу кромки λ призводить до збільшення різниці між кутовими кутами суміжних зубців, причому найбільше впливає кут нахилу кромки λ , а найменше – кут в плані φ .

Кутовий крок, окрім того, впливає на кількість зубців, розміри та об'єм стружкової канавки фрези, які в свою чергу, залежать від об'єму зрізуваного шару, тому в статті розглядаються питання визначення завантаження різальної кромки дискової відрізнної фрези в процесі роботи [2].

Існуючі методики визначення параметрів зрізуваного шару [5, 14] не дозволяють вирішити задачу для інструментів, які працюють за груповою прогресивною схемою зрізання припуску, оскільки не враховують випадків, коли різальна кромка кожного окремого зубця в групі відрізняється від інших за формою та розташуванням. Тому було розроблено методики визначення параметрів зрізуваного шару на основі 3D моделювання з використанням систем твердотільного геометричного моделювання [15] та аналітичного моделювання [16].

В основі розроблених методик лежить визначення параметрів зрізуваного шару, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання [13], з урахуванням впливу попередніх зубців, що працювали перед досліджуваним.

При визначенні параметрів зрізуваного шару аналітичним моделюванням [16] вихідними

є положення різальних кромки досліджуваного та попереднього зубців фрези, для яких визначаються положення поверхонь різання, що утворюються різальними кромками зубців при їх русі в процесі різання [13]. Для знаходження товщини зрізаного шару в досліджуваній точці різальної кромки визначається вектор нормалі до поверхні різання, який повинен бути направлений, обов'язково, в тіло заготовки. Товщина зрізаного шару визначається як мінімальне значення довжини нормалі до поверхні різання досліджуваного зубця [13].

Аналіз форми та товщини зрізаного шару окремим зубцем в процесі роботи фрези показав, що зубець працює не всією довжиною різальної кромки, максимальна ширина різання складає $0,55B$.

З метою визначення взаємозв'язку конструктивних і геометричних параметрів та режимів оброблення проведено математичне моделювання процесу відрізання дисковими відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями при обробленні металевих заготовок. Оскільки процес різання описується функцією великої кількості аргументів з невідомою структурою залежностей, а кількість дослідів обмежена, то в якості методу математичного моделювання процесу відрізання фрезами, використано один з методів евристичної самоорганізації – метод групового врахування аргументів (МГВА) [17], відповідно до якого визначені вхідні та вихідні параметри.

В якості вхідних факторів, прийняті геометричні параметри фрези та режими різання.

Вихідні параметри процесу відрізання:

– складові сили різання: сила подачі P_s , що навантажує механізм подачі верстата; вертикальна сила відтискання P_n , що направлена перпендикулярно до стола верстата та бокова сила P_a , що направлена вздовж осі інструменту;

– параметри якості процесу оброблення: величина задирок на торцевих поверхнях; шорсткість оброблених поверхонь.

В результаті обробки отриманих експериментальних даних, з використанням спрощеного алгоритму МГВА [17], отримано залежності для визначення складових сили різання та якості оброблених поверхонь. В результаті оптимізації режимів оброблення відрізними фрезами, отримано рекомендовані геометричні параметри та режими різання при відрізання сталі 45 та сплаву Д16.

Лабораторні дослідження силових характеристик відрізання заготовок зі сталі 45 та Д16 відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями показали, що вертикальна сила P_n та сила подачі P_s на 40–60% менші, в порівнянні зі стандартними фрезами, за рахунок раціональної схеми різання, геометричних параметрів та режимів різання.

Аналіз якості оброблених поверхонь при відрізання заготовок зі сталі 45 та Д16 відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями показав, що шорсткість оброблених поверхонь зменшується на 15–30%, а величина задирок – на 20–25%. Підвищення продуктивності оброблення в 1,5–2 рази, за рахунок підвищення режимів різання фрезами з відповідними геометричними параметрами, призводить до зменшення величини задирок на 40–45% та незначного, на 15–20%, збільшення шорсткості, в порівнянні з попередніми фрезами, але на 25–30% зменшення шорсткості, в порівнянні зі стандартними фрезами.

Промислові випробування процесу відрізання металевих заготовок відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями показали підвищення продуктивності оброблення на 20–25% та якості оброблених поверхонь на 35–40%, в порівнянні з фрезами стандартної конструкції.

Список літератури

1. Райхельсон В. А. Обработка резанием сталей, жаропрочных и титановых сплавов с учетом их физико-механических свойств. Москва : ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 508 с.
2. Семенов А. В. Разработка дисковых пил с неравномерным шагом: дис. ...канд. техн. наук : 05.03.01. Киев, 1998. – 194 с.

3. Лорох Р. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: дис. канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1998. – 180 с.
4. Боронко О. О. Метод розрахунку вібраційних процесів машинобудівних конструкцій: дис. докт. техн. наук: 05.02.09. Київ, 2003. – 267 с.
5. Панчук В. Г. Теоретичні основи проектування відрізних фрез: дис. доктора техн. наук: 05.03.01. Киев, 2009. – 360 с.
6. Балицька Н. О. Підвищення працездатності прорізних фрез: дис. кандидата техн. наук: 05.03.01. Київ, 2015 – 165 с.
7. Кузнецов Ю. М., Чікін С. В., Мачуга Р. І. Відрізання прутків і труб: теорія і практика / Під ред. Ю. М. Кузнецова.–Київ: ТОВ «ГНОЗІС», 2008. –333с.
8. Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание металлов. Москва : Высшая школа, 2009. – 535 с.
9. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. Москва : Высшая школа, 1985. – 304 с.
10. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. Москва : Машгиз, 1956. – 367 с.
11. Кушнер В. С. Основы теории стружкообразования: Учебное пособие. В 2-х кн. Омск : Изд-во ОмГТУ, 1996. Кн. 1: Механика резания. 130 с.
12. Равская Н. С., Николаенко Т. П., Мельничук Л. С. Общая теория определения геометрических параметров инструмента. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. 2003. Вип. №14. – С. 3–11.
13. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. – Київ : Держспоживстандарт України, 1993. – 63 с.
14. Равская Н. С., Родин П. Р., Солодкий В. И. Общая методика определения среза при резании. Резание инструментом в технологических системах. 1999. № 53. – С. 131–135.
15. Равська Н. С., Охріменко О. А., Майданюк С. В. Визначення параметрів зрізаного шару багатозубих дискових інструментів та торцевих фрез за допомогою комп'ютерних систем 3D проектування. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №32, 2013. – С.20-29.
16. Okhrimenko, O.; Vovk, V.; Maidaniuk, S.; Lashyna, Y. Determining the width of a layer cut with saws with multidirectional teeth. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, [S. l.], v. 3, n. 1 (111), p. 14–20, 2021. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231779>.
17. Равская Н. С. Разработка прогрессивных режущих инструментов на основе моделирования их работы методом самоорганизации : дис. доктора техн. наук : 05.03.01. Киев, 1991. – 372 с.

Development of the design of saw blade with multidirectional teeth

Maidaniuk Serhii

Abstract. The work is devoted to improving the productivity and quality of surfaces when cutting metal blanks with saw blade due to the development of the design of cutting cutters with multidirectional teeth and the definition of rational processing modes. On the basis of the general provisions of the theory of cutting and design of cutting tools, the design of the tool has been developed and the geometric parameters of the cutting part in the process of its operation are investigated. Based on the theory of forming surfaces, the methods of determining the parameters of the cut layer using 3D modeling using systems of solid-state geometric modeling and analytical modeling are developed, the parameters of the cut layer are investigated, on the basis of which the boundary processing modes and geometric parameters of the tool are determined. Conducted laboratory tests aimed at testing of theoretical studies, made it possible to obtain analytical dependence of characteristics of processing process and quality of obtained parts. Production verification of research results confirmed the results of theoretical research.

Keywords: saw blade, multidirectional teeth, geometric parameters, cut layer, 3D modeling, mathematical modeling, cutting modes, cutting forces, surface roughness.