

# ПРОГРЕСИВНІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ РІЗАННЯ, ФОРМОУТВОРЕННЯ, СКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЮ

УДК 621.914.5:621.9.015

І.Є. Грицай

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## СИЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ФРЕЗОЮ

© Грицай І.Є., 2003

**Наведено результати моделювання силового навантаження зубця черв'ячної фрези, на якому виникає найбільша сила різання під час нарізання циліндричних зубчастих коліс та досліджено закономірності зміни параметрів зрізів й силового навантаження в межах активного простору зубця.**

**Outcomes of mathematical simulation of force cutting of cylindrical cogwheels by a screw type hobs; the results of the modelling of the parameters of the cutting and count power loading by the way force fields of the most loaded teeth of a milling cutter.**

Нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами належить до найскладніших процесів різання та формоутворення. Його складність зумовлена одночасною участю в усуненні матеріалу припуску із западин між зубцями колеса в середньому трьох – п'яти зубців кожної із 9 – 12 рейок черв'ячної фрези, коли більшість із цих зубців ріже одночасно двома або трьома лезами. В умовах багатозубчастого багатолезового періодичного різання параметри зрізів, які мають різні значення на кожному зубці та лезі, неперервно змінюються за кутом повороту фрези, а кожне лезо характеризується власними параметрами контакту з заготовкою та довжиною шляху різання. Неперервна і періодична зміна форми і розмірів товщини, ширини і перерізу зрізів й параметрів контакту на усіх зубцях і лезах за один оберт фрези є ознакою нестаціонарності процесу різання за період обертання черв'ячної фрези. У той же час, у різанні з осьовою подачею (а цей метод зубообробки є основним при виготовленні циліндричних зубчастих коліс), в циклі осьової подачі кожен зубець і лезо усуває припуск в одній і тій же поверхні різання, тому під час усталеного різання цей процес буде стаціонарним. Внаслідок складної схеми різання та формоутворення черв'ячної фрези на сьогодні цей процес все ще недостатньо досліджений і на теоретичному і на експериментальному рівнях.

Розроблені автором графоаналітична модель параметрів зрізів [1, 2], математична модель силового навантаження з урахуванням умов невільного різання [3], досліджені закономірності зміни робочих кінематичних кутів черв'ячної фрези [4], вплив торцевого перекриття у верстатному зачепленні “інструмент-заготовка” [5], а також встановлення функції питомої сили різання зубофрезерування створюють теоретично-прикладну базу для комплексного дослідження силового навантаження, розподілення сили різання і її складових в активному просторі черв'ячної фрези й дозволяють суттєво підвищити точність і достовірність силових розрахунків.

Для отримання цілісного відображення розподілення сили різання та прогнозування теплових потоків на робочих поверхнях [6] у вигляді відповідної просторової функції, побудованої на координатах робочого простору черв'ячної фрези, доводиться визначати середню або середньомаксимальну силу різання на кожному зубці, без її розподілення між активними лезами зубців. Разом з тим, розроблені моделі дають можливість встановлювати закономірності зміни сили різання і теплових потоків на поверхнях зубців за час одного різку з урахуванням нестационарності процесу різання, дійсних значень параметрів зрізів та їх зміни по куту повороту фрези та по шляху різання, моментів початку і закінчення різання кожного леза. Потреба глибшої деталізації процесу зумовлена необхідністю аналізу навантаження зубця черв'ячної фрези, який виконує найбільшу роботу з усунення припуску, або ж зубця, на якому генеруються максимальні теплові потоки і який регламентує стійкість всього інструмента.

Розглянемо розв'язання цієї задачі на прикладі нарізання зубчастого колеса модулем 4,5 мм з кількістю зубців 41 із сталі 40Х стандартною модульною однозахідною правою черв'ячною фрезою (ГОСТ 9324-80) з кількістю рейок, що дорівнює 9 та кутом підйому основного черв'яка  $2,2^\circ$ ; матеріал різальної частини – швидкорізальна сталь Р6М5. Режими різання: осьова подача – зустрічна і попутна 1,5 мм/об.; при швидкостях різання 20,1 м/хв; 38,6 м/хв; перший прохід, глибина різання 0,6 h, де  $h = 2,25 t$  – повна висота профілю зубця.

На основі моделі силового навантаження [1, 2] на рис. 1 показані графіки зміни головної складової сили різання на зубцях фрези, які розташовані на різній віддалі відносно міжосьової лінії, за кутом повороту фрези під час зустрічної (а) та попутної (б) подач. З наведених графіків видно, що максимальна сила різання виникає на зубці з координатою – 3,14 мм – це зубець №-2 вхідної ділянки фрез. Сила на ньому становить 1901,9 Н у зустрічному різанні та 1148,4 Н – у попутному різанні. Змоделюємо навантаження цього зубця силою різання на його лезах, яка змінюється за кутом контакту. Оскільки сила різання є функцією параметрів зрізів, то визначимо закономірності зміни товщини, ширини і площі перетину зрізів (рис. 2).

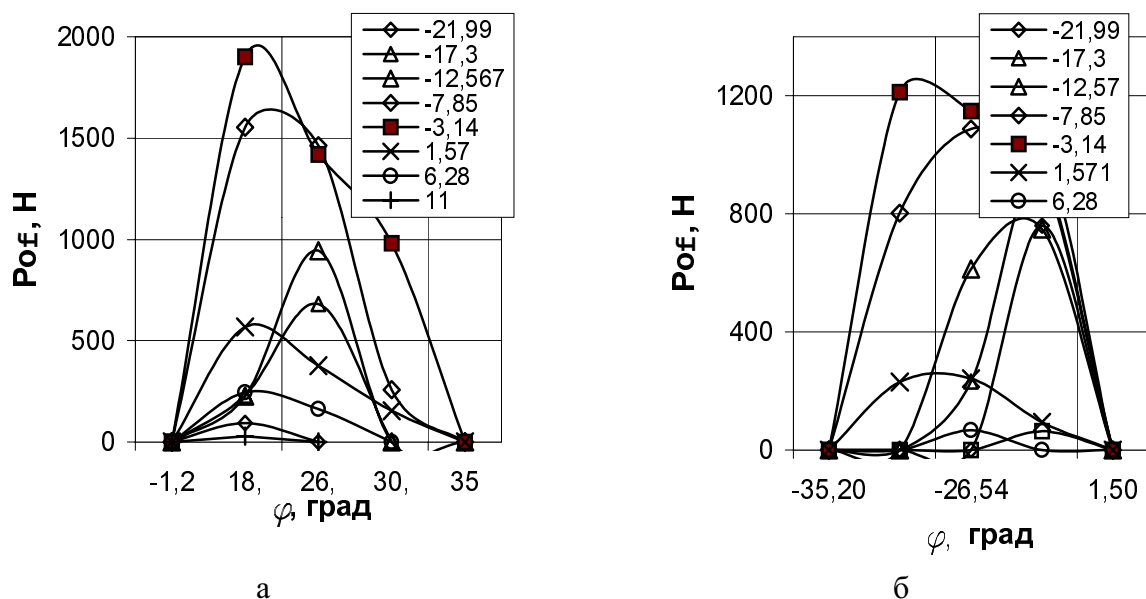


Рис. 1. Зміна головної складової сили різання на зубцях за кутом повороту фрези у зустрічному (а) та попутному (б) різанні для зубців, які знаходяться у різних ділянках активної довжини

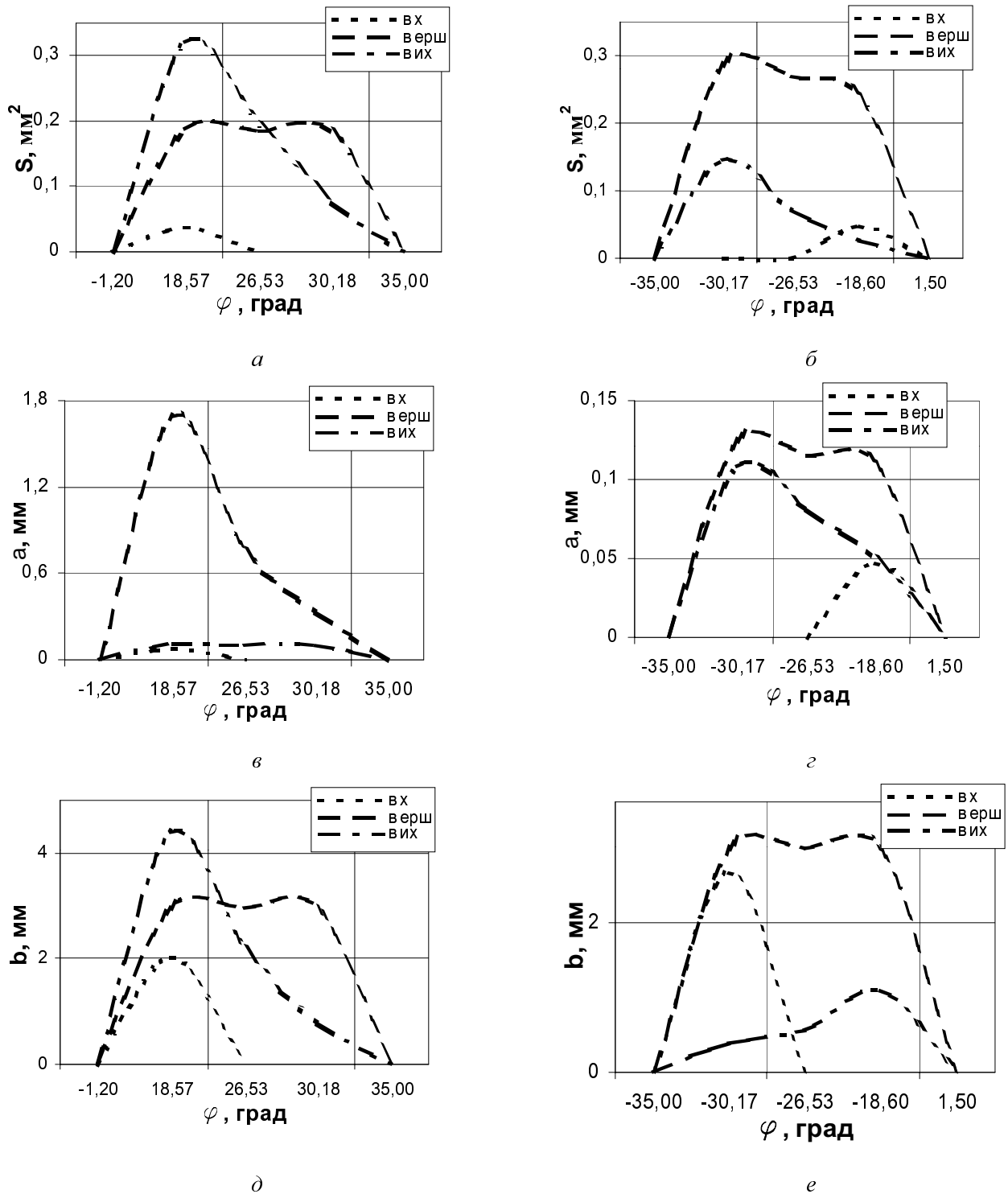


Рис. 2. Площа поперечного перерізу (а, б), товщина (в, г) і ширина (д, е) перерізу зрізу вхідних (вх), вершинних (верш) та вихідних (вих) лез за кутом повороту фрези:  
а, в, д – зустрічна подача; б, г, е – попутна подача

На підставі закономірностей зміни параметрів зрізів та моделі силового поля черв'ячної фрези на рис. 3 зображені розподілення сили різання на лезах найбільш навантаженого зубця черв'ячної фрези під час зустрічного (а) та попутного (б) зубофрезерування в просторі, який обмежений координатами “периметр різання – кут повороту фрези”. У розрахунках не враховано зростання сили різання внаслідок невільного різання.

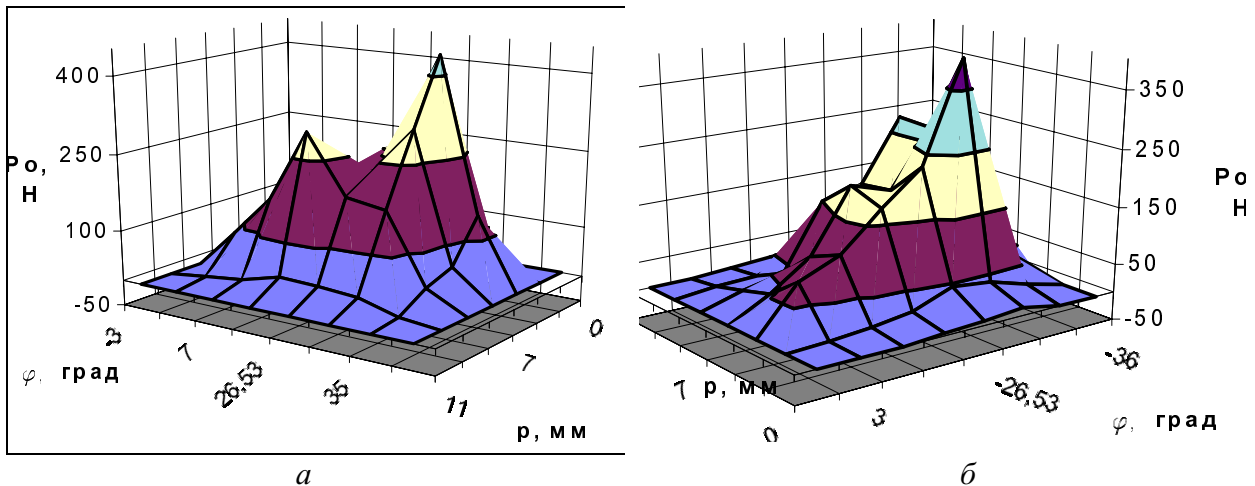


Рис.3. Навантаження зубця черв'ячної фрези за активним периметром різання лез та кутом повороту фрези під час зустрічної (а) та попутної (б) осьової подачі

Аналіз отриманих на підставі моделювання даних свідчить ось про що.

1. Леза зубця черв'ячної фрези завантажені вкрай нерівномірно, при цьому спостерігаються значні перепади та стрибкоподібна зміна сили різання по дузі контакту лез з заготовкою.

2. В умовах нестационарного різання черв'ячної фрези сила різання на окремому зубці досягає максимальних значень при зустрічній подачі в кінці дуги контакту на вихідному боковому лезі в ділянці основи зубця, а при попутній подачі – на вихідній вершині вершинного леза на початку дуги контакту.

3. Основну частку роботи різання виконують вершинне та бокове вихідне леза, але у різанні з попутною подачею частка вихідного леза зменшується, а робота різання між боковими лезами розподілена рівномірніше. Значне навантаження вихідних лез призводить до значних відхилень стружки від вершинних лез. Разом з тим вказаний розподіл роботи різання між вхідним та вихідним боковими лезами у різанні з різними напрямками подачі призводить до того, що під час зустрічної подачі відхилення вектора сходження стружки від нормалі до вершинного леза виносить  $82^\circ - 85^\circ$ , а під час попутної подачі –  $74^\circ - 77^\circ$ . Внаслідок цього на вершинному лезі найбільш навантаженого зубця (та групи зубців, які прилягають до нього на поверхні основного черв'яка) робочі кінематичні передні кути (ГОСТ 25762 – 83) практично дорівнюють нулю навіть при значних статичних передніх кутах.

В обох напрямках осьової подачі початок врізання супроводжується ударною дією. Під час попутної подачі причиною такого характеру навантаження служить стрімке наростання товщини і площі перетину зрізів по куту повороту фрези, а під час зустрічної подачі – врізання з малими передніми робочими кінематичними кутами та нульовою товщиною зрізу, що характеризується змиальною дією металу припуску та великими питомими навантаженнями на передні поверхні лез, особливо під часі обробки пластичних марок сталей.

Отримані висновки дають змогу визначити координати зубців черв'ячної фрези, які виконують основну частину роботи різання і на які припадає найбільше силове навантаження, встановити закономірності розподілу цього навантаження в активному за сумарним периметром і кутом повороту кожного леза та розробити заходи для зменшення цього навантаження й забезпечення рівномірнішого розподілу сили різання між зубцями та їх лезами. До вказаних заходів можна зарахувати модифікування схеми різання і пошук способів оптимальнішого розподілення припуску; оснащення найнавантажениших зубців

червоної фрези пластинами з твердих і надтвердих сплавів; нанесення захисних покриттів на поверхні зубців, які працюють в найменш сприятливих умовах різання.

1. Грицай И.Е. Исследование закономерностей изменения сечений срезов при нарезании зубчатых колес червячными фрезами // Автоматизация производственных процессов. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Львов. Изд-во ЛПИ. – 1990. – Вып. 29. – С. 40 – 45. 2. Основи підвищення ефективності процесу нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Дис. ... д-ра техн. наук. – На правах рукопису. – Львів, 2003. – 425 с. 3. Грицай І.С., Ситнік В.В. Силове поле черв'ячної зуборізної фрези та його кількісна оцінка // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1999. – № 371. – С. 3 – 13. 4. Грицай І.С. Кінематичні кути інструмента, який працює в умовах обкочування // Наукові нотатки Луцького держав. техніч. ун-ту. – 2001. – Вып. № 9. – С. 92 – 112. 5. Грицай І.С. Моделювання спектра гармонічних складових сили різання у процесах зубофрезерування в умовах обкочування // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – 2000. – № 412. – С. 18 – 32. 6. Грицай І.С. Прогнозування стійкості черв'ячних фрез за інтенсивністю теплових потоків і температурою їх робочих поверхонь // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2002. – № 442. – С. 26 – 35.

УДК 621.914.5:621.9.015

І.С. Грицай, Є.М. Махоркін

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ СИЛИ РІЗАННЯ ВІД ФАКТОРІВ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ

© Грицай І.С., Махоркін Є.М., 2003

**Наведено результати експериментального дослідження питомої сили різання зубофрезерування. Отримано функцію питомої сили зубофрезерування від умов обробки, яка забезпечує вищу точність силових розрахунків цього процесу та можливість моделювання просторової функції сили різання на координатах активного простору черв'ячної фрези.**

**The outcomes of an experimental research of specific force of cutting of cylindrical cog-wheels by screw type are rotined. The functional connection of specific force of milling is obtained depending on conditions of cutting. This dependence allows more precisely to count power loading and introduce loading by the way force fields.**

Однією із важливих проблем, вирішення якої необхідне для математичного моделювання сили й моменту різання, розрахунку силового навантаження на елементи зубофрезерного верстата та оптимізації умов його роботи, є визначення питомої сили різання зубофрезерування. За допомогою питомої сили різання, яка належить до основних характеристик оброблюваного матеріалу та різання, можна подати силу різання черв'ячної фрези та закономірності її зміни у часі обробки в функції від параметрів зрізів. Незважаючи на важливість даного параметра для силових розрахунків зубофрезерування, ця проблема на теперішній час все ще недостатньо вивчена.