

**УДК 622.24.051.55**

**Ігор Грицай, д.т.н., проф.; Андрій Сліпчук, к.т.н., доц.; Андрій Кук, к.т.н., доц.**  
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ВРІЗАННЯ В МЕТОДІ POWER SKIVING**

Анотація. Наведено результати дослідження процесу нарізання зубчастих коліс за методом Power Skiving на основі розроблених моделей недеформованої стружки та сили різання. На основі аналізу процесу різання на етапі вривання встановлено, що є можливість підвищення продуктивності процесу при збереженні якості коліс шляхом скорочення сумарного шляху різання за рахунок багатократних коротких ходів на етапі вривання з наступним різанням на повну глибинупрофілю за 1-2 проходи.

Ключові слова. Power Skiving, комп'ютерне моделювання, вривання, шлях різання, продуктивність

**Ihor Hrytsay, Ph.D., Prof.; Andrii Slipchuk, Ph.D., Assoc. Prof.; Andrii Kuk, Ph.D., Assoc. Prof.**

## **INVESTIGATION OF NON-STATIONARY CUT-IN PROCESSES IN POWER SKIVING METHOD**

Abstract. The paper presents the results of the study of the process of cutting gears by the power-skiving method on the basis of the developed models of undeformed chips and cutting forces. Based on the analysis of the cutting process at the cre-шт stage, it is established that it is possible to increase the productivity of the process while maintaining the quality of the gears by reducing the total cutting path through several short strokes at the cut-in stage, followed by cutting to the full depth of the profile in 1-2 strokes

Keywords: Pover Skiving, computer simulation, cut-instage, cutting path, performance

Протягом останніх років у виробництві зубчастих коліс набуває все ширшого застосування метод Power Skiving, відомий раніше як зуботочіння. Поширення цього методу на колеса зовнішнього зачеплення та колеса великих модулів зумовлене його значними перевагами у порівнянні з традиційними методами зубонарізання, зокрема, черв'ячним зубофрезеруванням та зубодовбанням: велика швидкість різання при забезпеченні високої якості зубчастих коліс. Разом з тим, аналіз цієї технології показав, що існує резерв для істотного підвищення її продуктивності.

Дослідження Power Skiving на основі розроблених авторами моделей недеформованої стружки та розрахунку її параметрів, а також сили різання і динаміки процесу [1] показали, що на обмеження робочих режимів в цьому методі впливають умови різання на стадії вривання, яке є особливим етапом процесу формування зубчастої поверхні. Пояснимо це на порівнянні цього етапу формування зубчастого колеса з черв'ячним зубофрезеруванням, що на сьогодні залишається основним методом нарізання зубчастих коліс в машинобудуванні.

В різанні черв'ячною фрезою в одній впадині в циклі осьової подачі бере участь значна кількість зубців, які розташовані на її гвинтовій поверхні. Наприклад, якщо кількість рейок фрези 10, коефіцієнт торцевого перекриття з колесом 2,5, то впадина формується двадцятьма п'ятьма зубцями, які ріжуть за час контакту фрези з колесом в одному циклі подачі. Для тих же умов Skiving -різець обробляє впадину одним зубцем, відповідно до закону парного зачеплення двох коліс, який реалізовано в цьому методі. Звідси випливає значна різниця в умовах вривання черв'ячної фрези і сківінг-різця: при зміщенні цього інструменту на величину осьової подачі його зубець приходить у

впадину, прорізану в попередньому циклі на значно меншу глибину, а при контакті зубця з цієї поверхнею виникає удар і стрибкоподібне збільшення сили різання. Такі умови нестационарного різання змушують використовувати «ощадливі» режими різання: зменшувати величину подачі, або нарізати колесо з великим числом проходів за малої глибини різання. Ці несприятливі умови зберігаються протягом певного числа обертів заготовки до початку формування остаточної впадини між зубцями колеса та при переміщенні Skiving-різця на певну довжину в осевій подачі. Після формування сталого перехідної поверхні у впадині різання продовжується як стаціонарний процес із власними закономірностями, які циклічно повторюються під час кожного різу [2].

Кінематична схема процесу Power Skiving та сили, які діють на інструмент наведено на рис.1, а. Результати моделювання сили різання в одній впадині під час врізання на послідовних обертах інструменту під час третього проходу показані на рис.1, б. Початкові дані: колесо евольвентне прямозубе; модуль 2,5 мм; кількість зубців: колеса 33, різця 24; осьова подача 0,75 мм/об.; швидкість різання 190 м/хв.; кількість проходів чотири, глибина різання по проходах: 0,5m, 1m 1,5m та 2m; зовнішній діаметр різця 66 мм; кут схрещення осей  $\omega = 25^{\circ}$ .

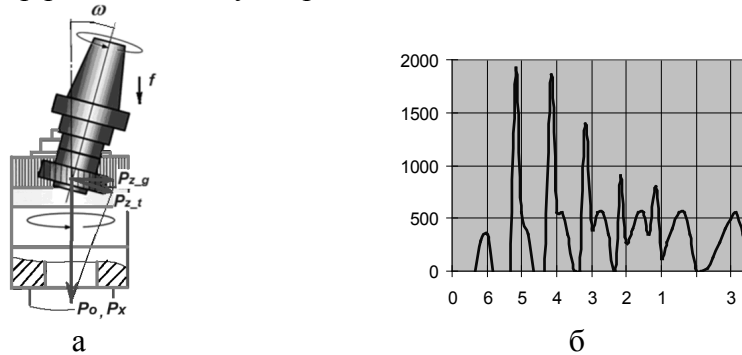


Рис.1. Кінематична схема процесу Power Skiving (а) та сили різання в одній впадині на послідовних обертах інструменту при врізанні на третьому проході з глибиною різання (б)

Графіки на рис.1, б відображають сили однозубого різання, коли моделюється процес роботи одного зубця інструменту в одній впадині. На рис. 2, а показано графік сумарної сили, як сили багатозубого різання під час третього проходу, який відтворює умови зубонарізання відповідно до коефіцієнту торцевого перекриття, коли в зачепленні перебувають одночасно кілька зубців інструменту. Для порівняння зміни умов перебігу процесу зубонарізання на рис.2, б наведено силу різання під час цього ж проходу після завершення врізання, тобто в умовах стаціонарного різання.

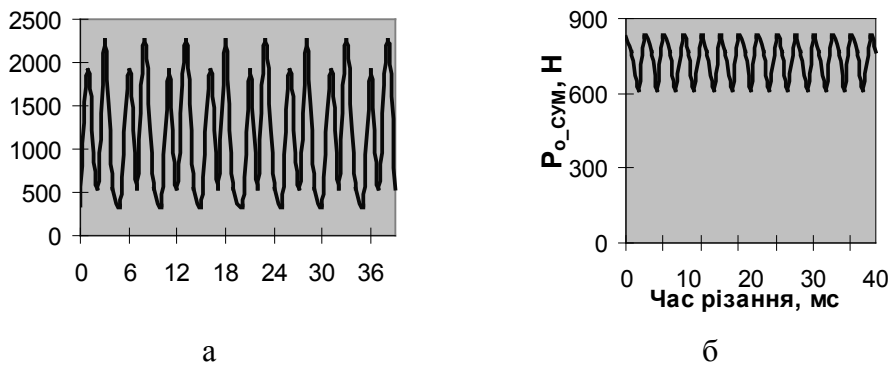


Рис.2. Сила неперервного різання на другому оберті в третьому проході при врізанні (а) та сили неперервного стаціонарного різання (б)

На рис.3 наведено графік сумарної сили неперервного багатозубого різання, яке здійснюється на повну глибину профіля за один прохід для тих же початкових даних. Як видно, максимальна сила однопрохідного різання на етапі стаціонарного різання менша за пікові значення цієї сили на етапах вривання на другому оберті третього проходу в 2 рази. Одночасно середня сила теж зменшується вдвічі.

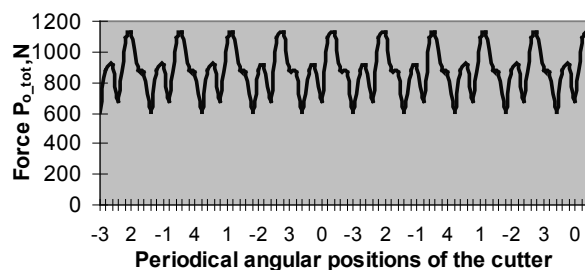


Рис. 3. Сила неперервного стаціонарного різання при нарізанні колеса на повну висоту профіля

Отримані результати, зокрема, порівняння сили різання на окремому проході при багато прохідному обробленні (900 Н) і сили, яка виникає на стадії стаціонарного (усталеного) різання на повну глибину профілю (1200 Н) дають підстави для такого висновку. Замість багатьох проходів на всю довжину колеса із поступовим збільшенням глибини різання, пропонується використовувати багатократні короткі переходи тільки на довжині шляху вривання, а після завершення формування перехідної поверхні у впадині між зубцями колеса і виходу інструменту на усталений режим роботи здійснювати один хід на всю висоту колеса (або за два ходи - залежно від можливостей Skiving-верстата). Оскільки довжина шляху вривання істотно менша від повної висоти колеса, то завдяки такій зміні операції можна багатократно скоротити час оброблення, підвищити продуктивність процесу, уникнувши ударних динамічних навантажень та забезпечивши стійкість різця і точність зубчастого колеса.

#### Перелік посилань

1. I. Hrytsay, A. Slipchuk, M. Bosansky. Justification of the Choice of Parameters for the Gear Power Skiving Operation Based on Computer Simulation. *Strojnícky časopis - Journal of Mechanical Engineering*. vol.73, no. 2, pp. 33-44. 2023
2. I. Hrytsai and A. Slipchuk. Features of using the over-skiving method for multi-pass cutting of external gears. *Mech. Adv. Technol.*, vol. 7, no. 3 (99), pp. 317–324, 2023.