

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.833.1.001

І.Є. Грицай, Е.М. Благут, В.І. Вільшанецький  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## ГІБРИДНІ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

© Грицай І.Є., Благут Е.М., Вільшанецький В.І., 2010

**Наведено основні засади створення змішаних (гібридних) передач, які в умовах ремонту та відновлення спрацьованих редукторів виключають потребу у виготовленні нових зуборізних інструментів та дають змогу значно спростити технологічний процес і зменшити його витрати.**

**Наведено основні засади створення змішаних (гібридних) передач, які в умовах ремонту та відновлення спрацьованих редукторів виключають потребу у виготовленні нових зуборізних інструментів та дають змогу значно спростити технологічний процес і зменшити його витрати.**

**Актуальність проблеми.** Процеси відновлення та ремонту машин та їх компонентів сьогодні вимагають підвищеної уваги. В умовах економічної кризи, погіршення фінансового стану, зменшення обігових коштів до цього вдаються не тільки невеликі промислові підприємства та фірми, але й крупні машинобудівні заводи. Дилема придбання нового ефективного та високопродуктивного, але дорогого обладнання чи продовження терміну служби обладнання і устаткування з тривалим часом експлуатації шляхом їх відновлення та ремонту часто вирішується саме на користь другого варіанта.

Об'єктом відновлення слугують деталі, що працюють у тяжких умовах: підвищеного тертя, високих швидкостей, дії великих сил і обертових моментів. З погляду складності відновлення їхніх первинних форми, розмірів, точності, фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталі машин належать до різних груп ремонтоскладності та ремонтпридатності. Якщо відновлення простих за формою поверхонь (площинних, циліндричних, конічних) деталей різних класів і типів не становить значної складності та може здійснюватися, наприклад, наплавленням металу з подальшою механічною та абразивною обробкою, то вирішити цю задачу для зубчастих і черв'ячних коліс традиційними методами немає можливості. При ремонті редукторів і коробок швидкостей треба виготовляти нові зубчасті і черв'ячні пари. Найчастіше зубчасті передачі виготовлялися як модифіковані, з кутовою та висотною корекцією зубців. Часто після багатьох років експлуатації втрачено конструкторську документацію. Для виготовлення нових коліс потрібні спеціальні модульні дискові або черв'ячні фрези, зубострогальні різці, зуборізні головки та інше спорядження, виготовляти яке в умовах ремонтного одиничного чи дрібносерійного виробництва нерентабельно.

**Формулювання мети дослідження** – розроблення гібридних зубчастих передач, у яких використовуються зубчасті колеса із синусоїдальним профілем зубців, отриманих новим способом нарізання із застосуванням дискових фрез за умов неперервного ділення.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Успішно вирішити цю проблему можна за допомогою нового способу нарізання зубчастих коліс, розробленого на кафедрі технології

машинобудування. Зміст і переваги цього способу, дослідженого та апробованого на практиці, описано у попередніх публікаціях [1–3]. Суть його полягає у нарізанні зубчастих коліс усіх типів і видів одним інструментом – тонкою (відрізною, або прорізною) дисковою фрезою на звичайному зубофрезерному верстаті для черв'ячного зубофрезерування. Формоутворення зубчастих профілів за цим способом досягається доповненням кінематики обточувального зубофрезерування додатковим рухом фрези зміщенням її кінематичної та геометричної осей (регульованим ексцентриситетом). Ідею пояснюють схеми на рис. 1.

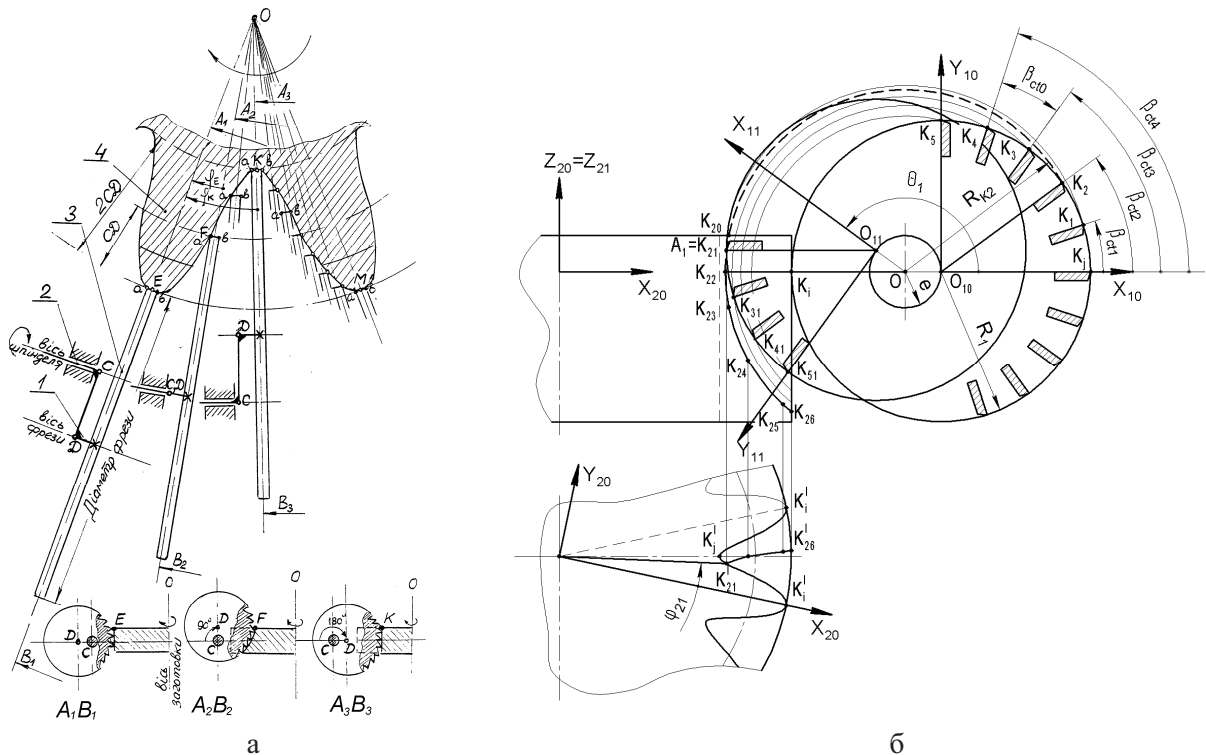


Рис. 1. Кінематична схема формоутворення синусоїдальних профілів у торцевій проекції (а) та осьовому вигляді (б)

Рівномірний зворотно-поступальний рух фрези у радіальному напрямку дає змогу утворити на колесі синусоїдальні зубці, а зміна закону цього руху – нарізати також евольвентні та будь-які інші профілі. Утворення кута профілю фрези у межах  $10^0 - 36^0$  дає змогу змінювати кут зачеплення передачі і товщину нарізуваних зубців, а регулювання ексцентриситету фрези (еквівалентного модуля зачеплення) – нарізати колеса будь-яких конструктивних параметрів. Для прикладу на рисунку наведено дискову збірну фрезу з пластинами з твердого сплаву і налагодження зубофрезерного верстата, оснащеного додатковим пристроєм з мультиплікатором для підвищення обертів у зворотно-поступальному кінематичному русі фрези. За допомогою мультиплікатора можна підвищити оберти на шпинделі фрези у кількість разів, кратну передавальному числу мультиплікатора, що необхідно для твердого сплаву.

У редукторах, які підлягають ремонту, найслабшою ланкою є шестірня вихідного вала. Загалом на усіх ступенях редуктора ведучі зубчасті колеса менш навантажені і більш працездатні, ніж ведені, тому заміни потребують насамперед ведені колеса і шестірні, ресурс яких обмежений. З цього випливає друга задача, яка постає після вибору способу виготовлення колеса, а саме – чи можлива заміна евольвентного зачеплення змішаним (гібридним), в якому одне колесо (ведуче) має евольвентні зубці, а друге (шестірня) – має зубці, відмінні від евольвентних, синусоїдальні. Позитивна відповідь на це питання дала б змогу:

- спростити процес нарізання нових зубчастих коліс (бо синусоїдальні та похідні від них колеса менш працемісткі у виготовленні, ніж евольвентні);

- підвищити експлуатаційну надійність передач;
- досягти істотної економії коштів за рахунок зменшення витрат на виготовлення або придбання зубонарізних інструментів.

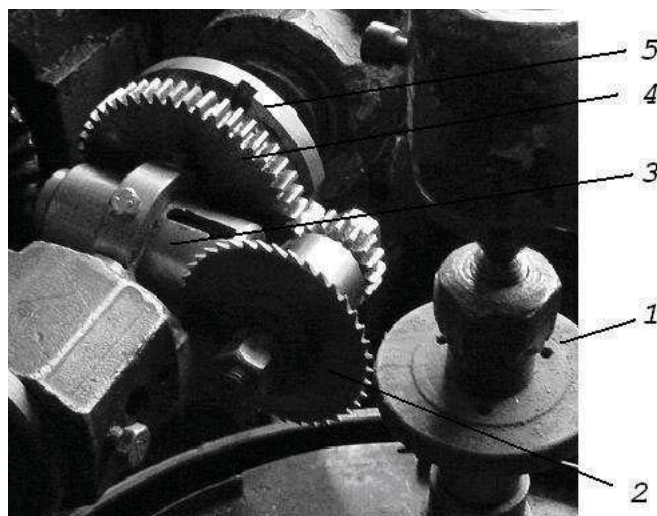


Рис. 2. Збірна дискова фреза та спорядження зубофрезерного верстата для зубонарізання:  
 1 – дискова фреза; 2 – заготовка; 3 – механізм зворотньо-поступального руху;  
 4 – мультиплікатор; 5 – шпиндель з оправкою ексцентриситету

Другий висновок ґрунтується на встановлених перевагах синусоїдальних передач над евольвентними: вища до 25 % вантажна здатність; менше тертя в передачі, більша протидія стиранню і спрацюванню; нижчий рівень шуму. Тому заміна з двох елементів передачі навіть одного, який матиме такі властивості, позитивно позначиться на показниках ефективності функціонування передачі.

На практиці можливі різні варіанти поєднання евольвентного та неевольвентного синусоїдального зачеплення і створення таких гібридних передач:

- синусоевольвентна повного профілю (рис. 3, а);
- синусоевольвентна неповного зачеплення (рис. 3, б).

Комп'ютерне моделювання зачеплення і кінематики різних комбінованих передач показало наступне.

1. При куті зачеплення  $20^\circ$  профілі головок синусоїдального та евольвентного зубців ідентичні, тому синусоевольвентна передача на половині лінії контакту працює як евольвентна, а на другій частині її довжини – як синусоїдальна. Порівняно з евольвентною ця змішана передача має менший рівень шуму і вібрацій та вищу навантажувальну здатність і довговічність.

2. Синусоїдальна передача, в якій реалізовано контакт тільки по головках зубців (рис. 3), є евольвентною передачею із збільшеними радіальним і боковим зазором. При куті зачеплення  $\alpha_\omega = 10^\circ - 15^\circ$  кінематична похибка цієї передачі мінімальна, а при  $\alpha_\omega = 25^\circ - 35^\circ$  її величина не перевищує 2,5 %.

3. У синусоевольвентній передачі неповного зачеплення: синусоїдальне колесо неповного профілю перебуває sprzęжене з повнопрофільним евольвентним колесом. Рівень шуму залишається низьким, але навантажувальна здатність цієї передачі дещо зменшується, зменшується також торцеве перекриття, внаслідок цього такі передачі треба виконувати з малими кутами зачеплення  $\alpha_\omega < 25^\circ$ , а при більших кутах зачеплення вони можуть бути лише косозубими.

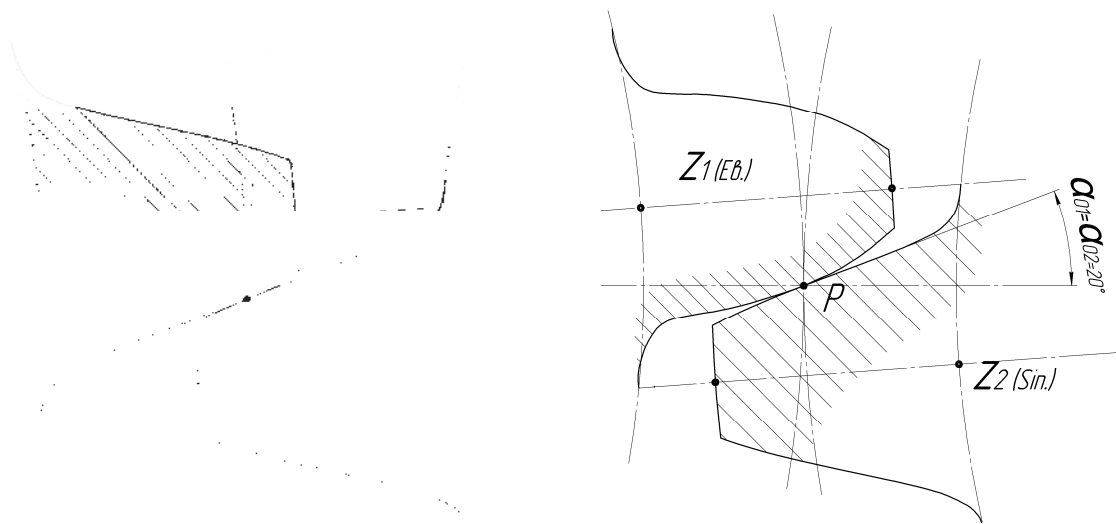


Рис. 3. Гібридні зубчасті зачеплення: синусоевольвентна повного профілю (а) та неповного зачеплення (б)

**Висновки.** Отже, завдяки новій розробці ремонтне виробництво машинобудівних підприємств отримує ефективний та універсальний спосіб для вирішення проблеми ремонту зубчастих передач, за яким виготовлення нових циліндричних, конічних і черв'ячних коліс редукторів не потребує спеціального обладнання та передбачає мінімальні витрати на виготовлення одного різального інструменту і нескладного спорядження для модернізації серійного зубофрезерного верстата.

1. Грицай І.Є., Благут Е.М. Зубчатые эвольвентные передачи: достоинства, недостатки, традиции // Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия "Металлообработка". – 2005. – № 2. – С. 36–40. 2. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М., Кук А.М. Застосування дискових фрез із рухомою віссю обертання для покращення техніко-економічних показників виготовлення циліндричних зубчастих коліс. Інструменти та інструментальне виробництво // Матеріали першої науково-практичної конференції: Зб. наук. статей. – Львів: ЛвЦНТЕІ, 2007. – С. 31–32. 3. Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., Махоркін Є.М Підвищення технологічної гнучкості операцій формоутворення зубців циліндричних зубчастих коліс в автоматизованому виробництві // Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні та приладобудуванні: Міжгалузевий збірник наукових праць. – 2008. – Вип. 42.