

## ЗУБОРІЗАЛЬНИЙ ДОВБАЧ З МОДИФІКОВАНОЮ ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*У статті розглянуто довбачі з модифікованою передньою поверхнею. Запропоновано конструкцію довбача, в якого у площині, перпендикулярній до його осі, виконано стружкові канавки у формі Архімедової спіралі. Форма профілю канавки обрана за умови забезпечення необхідної міцності леза та отримання доцільних передніх кутів. Застосування таких інструментів дозволяє знизити похибку профілю зуба довбача, а також підвищити стійкість інструменту за рахунок сприятливої геометрії та розділення довгих стружок на окремі елементи.*

**Постановка проблеми.** Довбачі знайшли широке застосування у промисловості, особливо під час обробки коліс зовнішнього зачеплення з великою кількістю зубів, невеликою шириною зубчастого вінця, великими кутами нахилу зубів, а також для обробки блок-шестірні та шевронних коліс. До точності довбачів висуваються досить високі вимоги, оскільки відповідно до ГОСТу 1643-81 вони мають забезпечити обробку зубчастих коліс за 6, 7 та 8 ступенями точності.

Для створення прийнятних умов різання передня поверхня довбача заточується під кутом  $\gamma_6$ . Цей кут перетворює передню торцеву площину в конічну поверхню, вісь якої співпадає з віссю довбача. В результаті заточування по передній конічній поверхні утворюється різальна кромка довбача як лінія перетину задньої та передньої його поверхонь. Проекція цієї різальної кромки на площину, перпендикулярну до осі довбача, вже не буде евольвентою. В результаті обробки таким довбачем зубчасте колесо також не буде евольвентним і буде мати відповідні похибки [1].

Це призводить до вібрацій, шуму в зубчастій передачі; нерівномірності розподілення навантаження і змашувального матеріалу по ширині зубчастого вінця, виникненню ударів на вході та виході із зачеплення, зниження плавності роботи передачі. Величини цих похибок залежать від прийнятих значень передніх та задніх кутів. Тому у стандартних довбачів вони обираються відносно невеликими  $\gamma_6 = 5^\circ$ ,  $\alpha_6 = 6^\circ$ , хоча прийняті значення кутів не є оптимальними з точки зору стійкості інструменту та якості обробки. Дослідження В.М. Матюшина показали, що тільки за рахунок збільшення кутів заточування можливо суттєво, у 3–4 рази підвищити стійкість довбача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою підвищення працездатності були запропоновані різноманітні способи підточувань передньої поверхні кожного зуба довбача, що дозволило підвищити їх стійкість за рахунок більш сприятливих геометричних параметрів [4]. Для підвищення точності зуборізальних довбачів використовують ряд методів, зокрема корекцію кута профілю вихідної зуборізальної рейки, модифікацію бічної сторони зуба, застосування фасонної передньої поверхні та ін. [2–4]. Зокрема у роботі [3] автором запропоноване теоретичне та технологічне забезпечення процесу формоутворення бічних поверхонь зубів прямокутних довбачів підвищеної точності зі збільшеними передніми та задніми кутами на бічних поверхнях зуба довбача з модифікованими зубами. Як показує аналіз [4], оскільки довбачі з конічною передньою поверхнею вносять певні похибки в профіль оброблюваного зубчастого колеса, то для підвищення точності оброблення зубчастих коліс доцільно проектувати довбачі з різальною кромкою, розташованою у площині, перпендикулярній до його осі.

**Мета роботи.** Теоретичне дослідження точності профілю та поліпшення геометрії довбача шляхом модифікації форми передньої поверхні інструменту.

**Викладення основного матеріалу.** Відомі зуборізальні довбачі для обробки зубчастих коліс з модифікованими передніми поверхнями зубів. У площині, перпендикулярній до осі довбача,

виконані кільцеві канавки, тобто передня поверхня складається з сімейства конічних поверхонь. Завдяки круглим конічним западинам різальна кромка має пилкоподібну форму [5].

До недоліків даної конструкції належить невисока точність обробки та низька стійкість інструменту. Невисока точність виготовлення зубчастих коліс таким довбачем полягає у тому, що лише крайні вершинні точки кожного зубця знаходяться у торцевій площині на евольвентній лінії. Решта ж точок різальних кромок завдяки наявності позитивного переднього та заднього бічного кута зуба займають положення, відмінне від теоретично необхідного. Тобто у проекції на основну площину різальна кромка зуба довбача буде мати пилкоподібну форму. Причому похибка буде тим більшою, чим більшими будуть значення переднього, бічного заднього кута та відстань між кільцевими канавками, які утворюють зубці.

Кільцеві канавки можуть бути виконані з рівномірним чи нерівномірним кроками. Очевидно, що відхилення профілю зуба від евольвентного буде тим меншим, чим меншим буде крок кільцевих канавок. Відстань між кільцевими канавками  $h$  для підвищення точності довбача [5] визначається за залежністю:

$$h = \frac{f_0}{\operatorname{tg}\alpha_a \cdot \operatorname{tg}\gamma_a}, \quad (1)$$

де  $f_0$  – допустима похибка профілю у торцевій площині за ГОСТом 9323-79;  $\alpha_a$  – задній бічний кут головної різальної кромки зуба довбача;  $\gamma_a$  – передній кут при вершині зуба довбача.

Виходячи з наведеної формули, для підвищення точності довбача необхідно зменшувати кути  $\alpha_a$  і  $\gamma_a$ , а також відстань між кільцевими канавками  $h$ . Проте зменшення  $\alpha_a$  менше  $2^\circ$ , і кута  $\gamma_a$  менше  $5^\circ$  недоцільним через погіршення умов різання. Причому, з точки зору поліпшення умов різання, кут  $\gamma_a = 5^\circ$  є не завжди достатнім, наприклад, під час обробки порівняно пластичних матеріалів. Крім того, зменшення величини  $h$  призводить до зниження міцності зубців, а відповідно і до їх руйнування.

Тому з метою підвищення стійкості довбача та точності обробки зубчастого колеса була запропонована конструкція довбача, у якого пилкоподібні виступи розташовані по спіралі, а форма спіральних виступів забезпечує отримання доцільних передніх кутів [6].

Зуборізальний довбач (рис. 1) складається з корпусу із посадочним отвором під оправку. На торцевій плоскій поверхні прорізаються по Архімедовій спіралі стружкові канавки, які формують пилкоподібні зубці. Кожний різальний зубець обмежений передньою та задньою поверхнями, що визначаються відповідно кутами  $\gamma$  та  $\alpha$ . Вказані передні та задні кути дорівнюють передньому та задньому кутам у вершинній точці, тобто  $\gamma = \gamma_a$  та  $\alpha = \alpha_a$ . У торцевій площині стружкова канавка має форму спіралі Архімеда.

Обробка стружкових канавок на плоскій торцевій поверхні довбача здійснюється безперервно фасонним шліфувальним кругом при обертанні довбача навколо своєї осі і прямолінійному поступальному русі шліфувального круга в радіальному напрямку. Аналогічним чином виконується заточування довбача в процесі експлуатації. Запропонована конструкція довбача спрощує виконання стружкових канавок та підвищує продуктивність їх обробки.

Для точної обробки зубчастого колеса необхідно, щоб профілюючі точки довбача знаходилися на евольвентній лінії. Крайні точки кожної спіральної канавки саме і знаходяться на евольвентному профілі. Між сусідніми точками, що лежать на евольвенті на відстані кроку спіралі одна від одної, оброблювана деталь матиме перехідну криву. Проте завдяки спіральній формі стружкової канавки між двома сусідніми точками будуть знаходитися профілюючі точки, що розташовуються на цьому ж витку спіралі та належать іншим зубам довбача (рис. 1). Причому, чим більша кількість зубів довбача, тим більша кількість профілюючих точок буде знаходитись на евольвенті і меншою буде похибка профілю у торцевій площині. І, що важливо, величина переднього кута  $\gamma$  практично не впливатиме на похибку профілю зуба. А це означає, що при проектуванні можна обирати доцільні значення передніх кутів, з точки зору поліпшення умов різання. Вибір оптимального переднього кута  $\gamma$  сприяє підвищенню стійкості інструменту без зниження точності обробки зубчастого колеса.

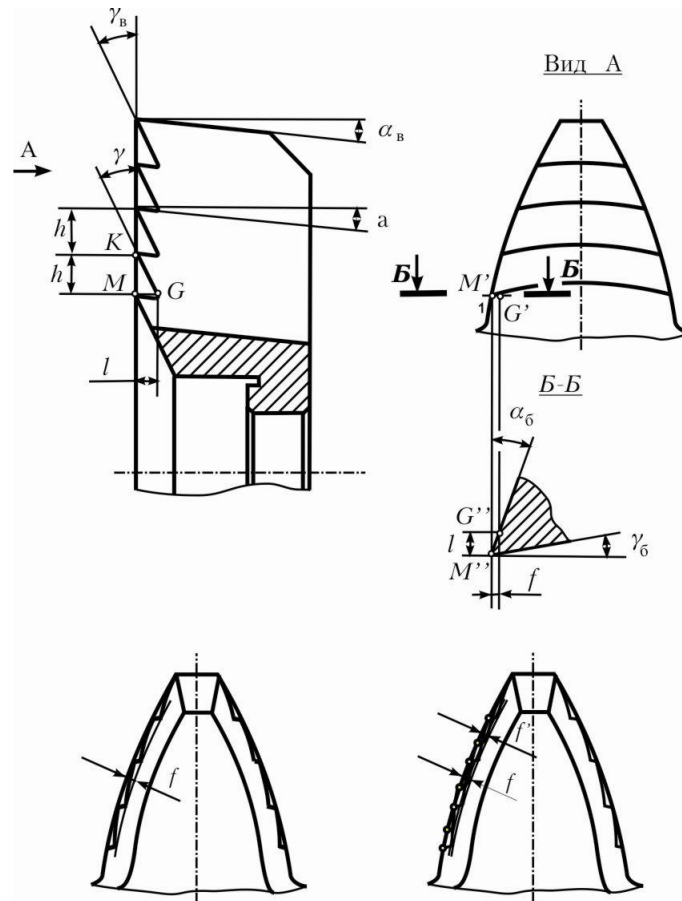


Рис. 1. Схема довбача зі спіральною канавкою

Визначимо величину похибки профілю зуборізального довбача зі спільною канавкою. Для порівняння розглянемо довбач з кільцевими стружковими канавками на передній поверхні [3]. Розглянемо довбач, що має такі параметри: кількість зубів  $z=16$ , модуль  $m=8$  мм, діаметр вершин зубів  $d_{a0}=148,96$  мм, діаметр основного кола  $d_{b0}=120,15$  мм, діаметр ділильного кола  $d_0=128,0$  мм, передній кут при вершині  $\gamma_6=5^\circ$ , задній бічний кут  $\alpha_6=2^\circ 14'$ . Висота робочої частини:

$$H = \frac{d_{a0} - d_{b0}}{2} = \frac{148,96 - 120,15}{2} = 14,4. \quad (2)$$

Довбач, що призначений для обробки шестірни: кількість зубів  $z=9$ , модуль  $m=8$  мм, коефіцієнт зміщення  $x=0$ .

Для довбача з кільцевими канавками максимальна похибка профілю головної бічної різальної кромки буде визначатися граничною точкою  $G$  робочого профілю перехідної кривої, оскільки передня поверхня зуба довбача виконана конічною з переднім кутом  $\gamma_6=5^\circ$ . Розташування граничної точки  $G$  різальної кромки визначимо з трикутника  $KMG$ :

$$l = h \cdot \operatorname{tg} \gamma_6. \quad (3)$$

Таким чином, точка  $G$  розташована на відстані  $l$  від торцевої площини довбача. З іншого боку, точка  $G'$  є горизонтальною проекцією точки  $G$ , віддаленої від номінального положення у поперечному перерізі  $B-B$  зуба на відстані  $f$ . Ця відстань визначається за залежністю:

$$f = h \cdot \operatorname{tg} \gamma_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_6. \quad (4)$$

Знаючи максимально допустиме значення похибки профілю довбача, згідно з ГОСТом 9323-79, можна визначити максимально допустиму відстань між кільцевими канавками. Для наведеного прикладу похибка профілю довбача класу точності А складає  $f_0=0,010$  мм. Тоді:

$$h = \frac{f_0}{\operatorname{tg} \alpha_6 \cdot \operatorname{tg} \gamma_6} = \frac{0,010}{\operatorname{tg} 2^\circ 14' \cdot \operatorname{tg} 5^\circ} = 3,114. \quad (5)$$

Розглянемо величину похибки профілю довбача при спіральному розташуванні різальних кромки. Це означає, що між профілюючими точками, тобто точками, що лежать на теоретичному профілі зуба

довбача, будуть знаходитись профілюючі точки інших зубів. У цьому випадку теоретична похибка профілю зменшиться в  $z-1$  разів, де  $z$  – кількість зубів довбача. При цьому необхідно, щоб відбувся повний цикл зміни відносного положення зубчастого колеса та довбача, який залежить від кількості зубів довбача та колеса. Наприклад, для довбача, що розглядається:

$$f' = \frac{f}{z-1} = \frac{0,010}{16-1} = 0,00067. \quad (6)$$

Оскільки величина похибки є малою, то є можливість величину переднього кута збільшити до його оптимального значення. Залежно від властивостей матеріалу заготовки він може коливатися в діапазоні  $\gamma = 5-15^\circ$ .

Визначимо величину похибки за таких умов: крок спіралі  $h = 3,114$  мм,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $z = 16$ .

$$f' = h \cdot \operatorname{tg} \gamma_a \cdot \operatorname{tg} \alpha_a / (z-1) = 3,114 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ \cdot \operatorname{tg} 2^\circ 14' / 15 = 0,00217. \quad (7)$$

Отримане значення є суттєво меншим за допустиме  $f = 0,010$  мм і навіть менше, ніж для довбачів класу АА, призначених для обробки зубчастих коліс 6 ступеню точності, де  $f = 0,006$  мм.

Запропонована конструкція довбача має певні переваги при обробці коліс великих модулів. Адже під час обробки великомодульних зубчастих коліс ускладнюються умови різання через те, що в процесі роботи утворюється тонка і довга стружка. Це викликає підвищення вібрацій, зниження стійкості інструменту та призводить до зниження продуктивності обробки. Пилкоподібна форма бічної різальної кромки довбача розділяє стружку на окремі елементи, що сприяє підвищенню працездатності інструменту.

#### Висновки:

1. Запропонована конструкція довбача з модифікованою формою передньої поверхні, а саме, з сімейством стружкових канавок на торцевій поверхні інструменту, розташованих по Архімедовій спіралі.
2. Нова конструкція довбача, порівняно зі стандартними, має меншу похибку профілю зуба, що виникає внаслідок застосування позитивних передніх та задніх кутів.
3. Теоретична похибка у випадку  $\gamma_e = 15^\circ$  і  $\alpha_e = 6^\circ$  не перевищує допуску для довбачів класу АА. Це дає можливість призначати оптимальні, з точки зору умов різання, значення передніх кутів, що підвищує стійкість різального інструменту.
4. Застосування пилкоподібної форми різальної кромки довбача сприяє розділенню стружки на окремі елементи, що поліпшує умови різання.

#### Список використаної літератури:

1. Родін П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родін. – К. : Вища школа, 1986. – 455 с.
2. Родін П.Р. Некоторые направления оптимизации конструкций зуборезных долбяков / П.Р. Родін, А.Н. Новиков, М.И. Олифиренко // Новые конструкции и прогрессивная технология производства инструмента. – М., 1984. – С. 37–41.
3. Рохин Л.В. Повышение точности зуборезных долбяков модификацией боковой поверхности их зубьев : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / Л.В. Рохин. – Тюмень, 2002. – 16 с.
4. Лупкин Б.В. Профилирование зуборезных долбяков с фасонной передней поверхностью для обработки зубчатых колес / Б.В. Лупкин, О.В. Мамлюк, Р.П. Родін // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2009. – № 42. – С. 104–109.
5. А. с. № 1761393 СССР, МПК В23 F 21/10. Долбяк для нарезания зубчатых колес / Орлов В.В., Гуляев В.И. // 4744786/08 ; заяв. 03.10.89 ; опубл. 15.09.92, Бюл. № 34.
6. Зуборізальний довбач. Пат. на корисну модель № 71293 UA МПК В23 F 21/10 // Адаменко Ю.І., Родін Р.П., Власюк А.В. // u2011 15231 ; заяв. 22.12.2011 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

АДАМЕНКО Юрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- різання матеріалів;
- інструменти для обробки композиційних матеріалів.

РОДІН Родіон Петрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- теорія проектування інструменту.

ВЛАСЮК Андрій Вікторович – студент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2012