

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

УДК 621.9.042

Кондусова Наталя Валеріївна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗУБОРІЗНИХ
ДОВБАЧІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ
АВТОНОМНИХ ЗНАЧЕНЬ ЗОВНІШНІХ І БІЧНИХ
ЗАДНІХ КУТІВ**

Спеціальність 05.03.01 - процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Інтегровані технології машинобудування” ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Федорович Володимир Олексійович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
професор кафедри “Інтегровані технології
машинобудування” ім. М.Ф. Семка

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дерев’янченко Олександр Георгійович,
Одеський національний політехнічний
університет, завідувач кафедри
“Технологія конструкційних матеріалів і
матеріалознавство”, м. Одеса;

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Кривошия Анатолій Васильович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Національної академії наук України, м. Київ.

Захист відбудеться 20 грудня 2007 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий 16 листопаду 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для сучасного машинобудування характерна стійка тенденція безперервного підвищення рівня автоматизації в сполученні з багатонаменклатурністю виробництва. Тільки таке сполучення забезпечує збільшення продуктивності і можливість швидкого переналагодження на випуск нових більш досконалих машин без великих витрат і в короткий термін.

Для виконання цих вимог, насамперед, потрібно по можливості забезпечити універсальність усіх технічних і технологічних засобів виробництва: обладнання, оснащення, різальних і вимірювальних інструментів. Універсальність обладнання забезпечується усе більш широким застосуванням верстатів із системами CNC, що оснащені комп'ютерами й інструментальними системами, у сполученні з автоматизованою підготовкою керуючих програм.

Підвищенню універсальності різальних інструментів для точкового формоутворення в останні роки сприяло розширене використання багатограних непереточувальних пластин і уніфікованих наборів і комплектів інструментів, що забезпечують швидке переналагодження. Що стосується складних фасонних інструментів, то питання підвищення їхньої універсальності вирішуються більш повільно. Це стосується і зуборізних інструментів, зокрема, довбачів. При цьому сучасні безупинно зростаючі вимоги до технічного рівня і якості машин висувають актуальні задачі підвищення точності формоутворення.

Для забезпечення точності і скорочення простоїв дорогих зубооброблюючих верстатів з CNC потрібна висока стійкість інструментів. Довбач є одним із самих універсальних зуборізних інструментів для обробки циліндричних евольвентних зубчастих колес, і це робить його ефективним для сучасного автоматизованого виробництва. Тому виникає актуальна наукова та практична задача підвищення стійкості й ефективності зуборізних довбачів із забезпеченням заданих геометричних обмежень параметрів оброблюваних ними зубчастих колес. Дана дисертаційна робота спрямована на рішення цієї актуальної задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що виконані у дисертаційній роботі, були пов'язані з держбюджетними науковими темами кафедри "Інтегровані технології машинобудування" ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": "Створення теорії і методики моделювання процесів різання в тривимірному (3D) просторі на основі багатопараметричних афінних відображень" (ДР № 0102U000976, 2002 – 2004 рр.); "Узагальнення 3D моделювання інструментів і формоутворення удосконалених зубчастих зачеплень з використанням інтегрованої технології RPTM" (ДР № 0105U000575, 2005 – 2006 рр.), в яких здобувач брала участь у виконанні окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності зуборізних довбачів шляхом удосконалювання їх конструкції і методики проектування в сполученні із селекцією переточок.

Задачі дослідження:

1. Обґрунтувати необхідність удосконалювання конструкції зуборізних довбачів і методики їхнього проектування для сучасного автоматизованого виробництва.
2. Виконати аналіз параметрів запропонованих довбачів, що мають автономні значення зовнішніх і бічних задніх кутів.
3. Визначити вплив переточок на параметри запропонованих довбачів, верстатного зачеплення, оброблюваних колес і зубчастих пар. Виконати аналіз геометричних умов процесу зубодовбання.
4. Розробити методику і алгоритм розрахунку бічних задніх кутів пропонованого довбача.
5. Оцінити вплив геометричних параметрів довбачів на поля напруг і температур.
6. Розробити і практично реалізувати алгоритм селекції переточок запропонованих довбачів з використанням розширених масивів значень параметрів.
7. Розробити рекомендації щодо проектування і застосування нових довбачів.

Об'єкт дослідження – процес зубодовбання циліндричних зубчастих коліс.

Предмет дослідження – зуборізні довбачі з автономним використанням зовнішніх та бічних

задніх кутів (їх розрахунок і застосування).

Методи дослідження. Дисертація базується на наукових положеннях теорії зубчастих зачеплень, теорії проектування зуборізних інструментів, теорії формоутворення різанням, теорії багатопараметричних відображень простору, метода кінцевих елементів.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Здійснено новий науковий підхід до проектування й експлуатації зуборізних довбачів, що полягає в незалежному завданні конічної і бічних задніх поверхонь і в автономному використанні задніх кутів.

2. Теоретично обґрунтована і розроблена нова конструкція зуборізних довбачів, у яких конічна задня поверхня визначена заднім кутом на вершині, а бічні задні поверхні задані як огинаючі нахиленої інструментальної рейки в її обкатному русі відносно довбача. На основі теоретичного аналізу запропонованого довбача встановлені нові функціональні зв'язки між його параметрами з урахуванням переточок.

3. Запропоновано новий геометричний опис шару, що зрізується при зубодовбанні, і методику розрахунку бічних задніх кутів нових довбачів як кутів між нормаллями задніх поверхонь і поверхні різання.

4. Доведено, що роздільне завдання конічної і бічних задніх поверхонь у новій конструкції довбача робить незалежними бічні задні кути і задні кути на вершині. Це забезпечує можливість автономного регулювання зазначених кутів у нових довбачів і підвищує їхню стійкість.

5. Розроблено і використано нову методику селекції, тобто добору найбільш раціональних сполучень переточок і оброблюваних зубчастих колес, що забезпечує виконання геометричних обмежень і враховує можливості запропонованих довбачів і сучасних верстатів із системами CNC.

6. Установлено роздільний вплив радіуса виступів і коефіцієнта зміщення контуру нових довбачів на параметри оброблюваних колес, що змінюються при переточках. Це підвищує ефективність селекції.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано нову конструкцію зуборізних довбачів (патент України на корисну модель № 22709 від 26.04.2007р. “Зуборізний довбач для обробки евольвентних зубчастих коліс”).

Роздільне завдання конічної та бічних задніх поверхонь у запропонованій конструкції довбача зі значним збільшенням бічних задніх кутів підвищує стійкість довбачів з скороченням простоїв зубооброблюючих верстатів із системами CNC. Збільшується термін служби довбачів.

Автономний вплив визначальних параметрів запропонованого довбача розширює можливості селекції, тобто добору найкращих сполучень довбачів, їхніх переточок і оброблюваних колес. Селекція робить довбачі більш універсальними, тобто збільшує номенклатуру колес і зубчастих пар, оброблюваних компактним набором довбачів. Можлива також обґрунтована цільова селекція переточок для спеціальних задач.

Результати і рекомендації дисертації використовуються в Інституті машин і систем НАН України (м. Харків), в ОАО НПП „Оснастка” (м. Краматорськ), а також у навчальному процесі кафедри "Інтегровані технології машинобудування" ім. М.Ф. Семка НТУ "ХП" " при викладанні дисципліни "Проектування і виробництво різальних інструментів".

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи одержано здобувачем самостійно. Серед них:

- теоретичне обґрунтування ефективності запропонованого довбача, аналіз його особливостей з визначенням нових функціональних зв'язків між параметрами; розробка алгоритму розрахунку його параметрів і параметрів оброблюваного колеса та верстатного зачеплення;

- конкретизація 3D моделі шару, що зрізається, і аналітичний опис поверхні різання, швидкості, тривалості різання та площі перетину зрізу;

- розробка методики розрахунку бічних задніх кутів нового довбача;

- аналіз вимог до зубчастих колес, оброблюваних запропонованими довбачами; розробка нового алгоритму селекції переточок довбача і апробація його обчислювальними експериментами;

- формулювання рекомендацій щодо практичного застосування теоретичних результатів.

Визначення мети, постановка задач і остаточне формулювання висновків виконано разом з

науковим керівником. У роботі наведені посилання на авторів і джерела при використанні відомих залежностей, експериментальних даних, наукових положень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (Харків, 2004-2007), на міжнародних науково-технічних семінарах "Високі технології в машинобудуванні" (Алушта, 2004-2006), на Семковських молодіжних наукових читаннях (Харків, 2004-2007). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні наукового семінару кафедри "Інтегровані технології машинобудування" ім. М.Ф. Семка НТУ "ХПІ".

Публікації. За результатами дисертації опубліковано вісім наукових робіт, серед них сім статей у фахових виданнях, рекомендованих ВАК України, і один патент України.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 202 сторінок, з них 15 ілюстрацій по тексту, 27 ілюстрацій на 23 сторінках, 15 таблиць по тексту, 1 додаток на 4 сторінках, 137 використаних літературних джерел на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету й задачі досліджень, наведено наукову новизну, практичну значимість отриманих результатів і загальну структуру роботи.

Перший розділ містить огляд використаних джерел. В даний час завдяки комп'ютеризації і можливостям сучасних верстатів з системами CNC створено нові наукові і технічні передумови для подальшого вивчення й удосконалювання зубооброблюючих інструментів і процесів обробки зубчастих колес.

Разом з тим, призначення багатьох зуборізних інструментів має обмеження. Так, черв'ячні фрези, що мають по літературним даним досить високу продуктивність у масовому виробництві, не можуть обробляти зубчасті колеса з буртом, блокові колеса, зубчасті колеса з внутрішніми зуб'ями. Цього недоліку позбавлені зуборізні довбачі, і тому вони більш універсальні. Крім того, застосування довбачів розширює можливості корегованих зубчастих колес і збільшує коефіцієнт перекриття.

Теорія проектування зуборізних довбачів і технологія зубодовбання досліджувалися в наукових працях Семенченка І.І., Родина П.Р., Равської Н.С., Романова В.Ф., Матюшина В.М., Кривошиї А.В., Буй Шонг Кау, Мамлюка О.В., Лю Менг Джоу та інших вчених. Однак ці дослідження стосуються найбільш розповсюджених довбачів зі зв'язаними задніми поверхнями.

Для сучасного автоматизованого виробництва потрібне подальше удосконалювання зуборізних довбачів з метою підвищення їх працездатності й універсальності.

В результаті аналізу літератури визначено основні задачі даного наукового дослідження.

В **другому розділі** розглянуто особливості запропонованої автором нової конструкції зуборізного довбача (рис. 1). На відміну від стандартних у нового довбача розділено завдання задніх поверхонь: конічна задня поверхня задана заднім кутом на вершинах α_{B_1} , а бічні задні поверхні отримані як огинаючі нахиленої рейки в її обкатному русі відносно довбача.

Проведено теоретичний аналіз запропонованого довбача, визначено його основні параметри і встановлено функціональні зв'язки між ними:

для визначального параметра

$$\alpha_{\xi_1} = \arctg \frac{\xi_1 m}{a}, \quad (1)$$

для радіуса виступів

$$r_{B_1} = m \left(\frac{z_1}{2} + f_0 + c_0 \right) m + a (tg \alpha_{B_1} - tg \alpha_{\xi_1}), \quad (2)$$

для радіуса западин

$$r_{B\Gamma_1} = m \left(\frac{z_1}{2} - f_0 - c_0 \right) m + atg\alpha_{\xi_1}, \quad (3)$$

Рис. 1. Особливості довбача з розділеним завданням задніх поверхонь при $\alpha_{\xi_1} > \alpha_{B_1}$:

- 1- довбач; 2 – конічна задня поверхня; 3 – бічна задня поверхня;
4 – нахилена рейка; 5 – контур рейки

для висоти зуба

$$h_1 = (2f_0 + c_0)m + a(tg\alpha_{B_1} - tg\alpha_{\xi_1}), \quad (4)$$

для параметра гвинта і поточного кута повороту евольвенти

$$p = \frac{m}{2tg\alpha_{ук}tg\alpha_{\xi_1}}, \quad (5) \quad \psi = \pm \frac{2atg\alpha_{ук}tg\alpha_{\xi_1}}{z_1}, \quad (6)$$

де: α_{ξ_1} - визначальний параметр довбача; α_{B_1} - задній кут на вершинах зуб'їв довбача; m - модуль, z_1 - число зуб'їв довбача; f_0, c_0 - коефіцієнти початкового контуру стандартної рейки; $\alpha_{ук}$ - кут початкового контуру; a - відстань від поверхні, що заточується, до початкового перетину.

З формул (1) – (6) очевидна визначальна роль параметру α_{ξ_1} , який характеризує швидкість зміни значень зміщень при переточках.

Установлено, що у запропонованого довбача, на відміну від стандартного, висота зуба h_1 змінюється при переточках, а радіус виступів r_{B_1} і його зміни при переточках не залежать від коефіцієнту зміщення ξ_1 .

Відсутність зрізу вершин довбача при його виготовленні забезпечено додатковим конусом на вершинах зубів з кутом δ , більшим, ніж кут α_{B_1} (див. рис. 1).

Кут α_{ξ_1} при конкретному значенні вихідної відстані a визначає бічну задню поверхню.

Від того, зв'язані або розділені конічна і бічні задні поверхні, залежить, чи зв'язані один з одним значення задніх кутів α_{B_1} і $\alpha_{\deltaок}$.

У запропонованих довбачів з розділеним завданням задніх поверхонь зазначені задні кути автономні. Можна задати раціональні значення задніх кутів α_{B_1} і $\alpha_{\deltaок}$ окремо друг від друга. Кут α_{B_1} прямо задає конічну поверхню на вершинах зуб'їв довбача, а кут $\alpha_{\deltaок}$ - побічно задає бічну задню поверхню. Знаючи $\alpha_{\deltaок}$ і конкретну величину переточок b , можна обчислити параметри α_{ξ_1} і ξ_1 .

Було виконано обчислювальні експерименти по вивченню змінювання параметрів нових довбачів при їх переточках. В усіх експериментах були прийняті однакові параметри: модуль $m = 5$ мм, кут вихідного контуру $\alpha_{ук} = 20^\circ$, кількість зуб'їв довбача $z_1 = 32$, граничні відстані від поверхні, що переточується, до початкового перетину $a_{\max} = 5$ мм $a_{\min} = -5$ мм. Величина переточок b змінювалася від нуля до 10 мм, кожному значенню b відповідало конкретне поточне значення відстані від початкового перетину a .

Експерименти розрізнялися значеннями параметрів $\alpha_{верш}$ і α_{ξ_1} : для експерименту 1

$\alpha_{\text{верш}} = \alpha_{\xi_1} = 6^\circ$; для експерименту 2 $\alpha_{\text{верш}} = 6^\circ$, $\alpha_{\xi_1} = 10^\circ$; для експерименту 3 $\alpha_{\text{верш}} = 10^\circ$, $\alpha_{\xi_1} = 6^\circ$. Після кожної переточки довбача змінювалися наступні його параметри: зміщення контуру Δ_1 , що відповідає коефіцієнту ξ_1 , радіуси виступів і западин r_{B1} і $r_{B\Pi_1}$, висота зуба h_1 , товщини зуба S_1 і S_{B_1} на радіусах r_1 і r_{B_1} .

Незалежно від співвідношення між кутами α_{ξ_1} і $\alpha_{\text{верш}}$ ($\alpha_{\xi_1} = \alpha_{\text{верш}}$, $\alpha_{\xi_1} > \alpha_{\text{верш}}$, $\alpha_{\xi_1} < \alpha_{\text{верш}}$), тобто у всіх трьох експериментах існує дві зони переточок – до і після початкового перетину, який відповідає нульовому значенню зміщення контуру ($\xi_1 = 0$). У першій зоні (до нульового перетину) параметр a і, отже, параметри Δ_{ξ_1} і $\Delta_{r_{B_1}}$ позитивні, а в другій зоні (після початкового перетину) – від'ємні. Отримані результати свідчать про те, що для всіх трьох параметрів довбача $\Delta_{r_{B1}}$, Δ_1 і ξ_1 у всіх трьох експериментах має місце рівномірне зменшення значень при переточках. У початковому перетині зазначені параметри дорівнюють нулю завдяки нульовій відстані від перетину.

Незалежно від співвідношень кутів α_{ξ_1} і $\alpha_{\text{верш}}$, у всіх трьох експериментах мають місце наступні нерівності:

у зоні переточок до початкового перетину (у зоні позитивних значень a)

$$r_{B_1} > r_{B_{1\text{поч}}}, \quad r_{B\Pi_2} > r_{B\Pi_{2\text{поч}}},$$

у зоні переточок після початкового перетину (у зоні від'ємних значень a)

$$r_{B_1} < r_{B_{1\text{поч}}}, \quad r_{B\Pi_2} < r_{B\Pi_{2\text{поч}}}.$$

У третьому розділі за допомогою багатопараметричних відображень простору конкретизовано відому 3D модель зняття припуску щодо специфіки зубодовбання (рис. 2). Шар, що зрізується довбачем, було розглянуто як переріз заготовки з ділянкою простору, яка формується відсіком передньої поверхні.

Рис. 2. До конкретизації 3D моделювання процесу зубодовбання

Формовану область простору описано рівнянням відображення $\bar{r}_2 = \bar{\varphi}_2(\bar{\varphi}_1 \bar{\rho} \bar{\mu} + \bar{l} + \bar{A})$, де $\bar{\rho}$ і $\bar{\mu}$ - оператори відсіку передньої поверхні, що рухається; \bar{l} , $\bar{\varphi}_1$, $\bar{\varphi}_2$ - оператори рухів; \bar{A} - оператор міжосьової відстані.

Аналітично описані геометричні і кінематичні параметри зняття припуску:

- шлях і тривалість різання

$$L = \int_{t_0}^t V dt, \quad t = \frac{B}{V_{zr}};$$

- площі і-го елемента і всього перетину зрізу

$$S_i = \int_{\mu_i}^{\mu_{i+1}} \int_{\rho_i}^{\rho_{i+1}} \sqrt{EG - F^2} d\mu d\rho; \quad S = \sum_{i=1}^n S_i,$$

де B - ширина оброблюваного колеса; E, F, G - функції параметрів різальної кромки μ_i і ρ_i .

Було визначено кінематичні кути різання. Для цього стосовно до зубодовбання було конкретизовано загальний метод розрахунку таких кутів, розроблений С.С. Петрухіним і

розвинутий іншими авторами. Були знайдені рівняння робочих поверхонь довбача, різальної кромки, відносного руху і поверхні різання, виходячи з них - вектори дотичних, нормалей і швидкостей $\bar{K}, \bar{N}, \bar{V}$ а потім – кути між відповідними векторами.

Нижче наведено приклади отриманих формул:

- для поверхні різання:

$$\begin{aligned}x_2 &= \rho \cos \mu \cos(1+i)\varphi_2 - \rho \sin \mu \sin(1+i)\varphi_2 + A \cos \varphi_2 \\y_2 &= \rho \cos \mu \sin(1+i)\varphi_2 + \rho \sin \mu \cos(1+i)\varphi_2 + A \sin \varphi_2 \\z_2 &= l;\end{aligned}$$

- для переднього кута

$$\gamma = \pi / 2 - \arccos \frac{\bar{N}_{II} \bar{N}}{N_{II} N} = \pi / 2 - \arccos \frac{\rho \cos(\eta - \mu) + A \cos(\eta + i\varphi_2)}{\sqrt{\left(\frac{V_{zt}}{\omega_2}\right)^2 + [\rho \cos(\eta - \mu) + A \cos(\eta + i\varphi_2)]^2}};$$

- для кута в плані

$$\varphi = \arccos \frac{\bar{K}_{pk} \bar{V}_{обк}}{K_{pk} V_{обк}} = \arccos \frac{\rho \sin(\eta - \mu) + A \sin(\eta + i\varphi_2)}{\sqrt{\rho^2 + A^2 + 2\rho A \cos[\mu + (1+i)\varphi_2 + \varphi_2]}}.$$

У цих формулах $\mu, \rho, \eta, i, \varphi_2, l, A$ - параметри різальної кромки, рухів і міжцентрової відстані.

Для визначення силового та теплового навантаження різних ділянок зуба у нових і стандартних довбачів автором дисертації разом з співавторами виконано дослідження напруг і температур методом кінцевих елементів у системі ANSYS. Одержано поля еквівалентних деформацій і напруг, сумарних переміщень, температур, їх градієнтів і тепловиділень (рис. 3).

Рис.3. Приклади результатів, одержаних методом кінцевих елементів:

- а) еквівалентні напруги по критерію Мізеса, $кг/мм^2$, б) розподіл температури, $^{\circ}C$, в) градієнт температур, $^{\circ}C/мм$, г) тепловиділення, Дж

Аналіз результатів, що отримані методом кінцевих елементів, свідчить про нерівномірний розподіл значень напруг і температур уздовж різальної кромки довбача. Найбільші значення відповідають ділянкам поблизу вершин (на “куточках”). Це підтверджується також теоретичним аналізом умов різання в цих зонах. Тут збільшені об’єми зрізу і додаткова деформація на перетинанні кромки викликають значне виділення тепла при погіршеному тепловідводі і найбільшій тривалості в різанні. Таким чином, встановлено, що внаслідок сполучення несприятливих умов ділянкам зуба поблизу вершин відповідає найбільша інтенсивність зношування, і вони є лімітуючими по стійкості.

Разом з тим, у стандартних довбачів бічний задній кут на зазначених лімітуючих ділянках занадто малий (усього близько 2°), що приводить до швидкого збільшення ширини зносу.

Роздільне завдання задніх поверхонь у запропонованої конструкції довбача дозволяє автономно задавати і змінювати задні кути на вершині і на бічних поверхнях, і тим самим забезпечувати їх раціональні сполучення для підвищення стійкості. Враховуючі, що найбільша інтенсивність зносу відбувається по бічних задніх поверхнях поблизу вершин зубів, таке збільшення бічного кута приводить до істотного підвищення стійкості зі зменшенням простоїв верстатів з системами CNC.

Виконано теоретичний опис бічних задніх поверхонь і задніх кутів у нових довбачів, що враховує специфіку.

Бічний задній кут було розглянуто як кут між нормалями до бічної задньої поверхні і поверхні

різання. Отримано нові зв'язки між параметрами і відповідні їм формули.

Для кожної точки різальної кромки довбача в репері $x_I y_I z_I$ евольвенти задані полярним кутом μ , радіус-вектором ρ і кутом η між дотичною до кромки і віссю x_I .

Бічний задній кут $\alpha_{\text{бок}}$ і нормалі розглядалися в репері, що повернутий щодо репера евольвенти на кут μ і у якого вісь x_I проходить через конкретну точку різальної кромки з конкретним значенням ρ .

Визначено дотичні \bar{K}_1 й \bar{K}_2 і нормаль \bar{N}_3 на бічній задній поверхні і поверхні різання в конкретній точці різальної кромки:

$$\begin{aligned} K_{1x_I} &= \cos(\eta + \mu) & K_{2x_I} &= 0 & N_{3x_I} &= \sin(\eta + \mu) \cos \tau \\ K_{1y_I} &= \sin(\eta + \mu) & K_{2y_I} &= \sin \tau & N_{3y_I} &= -\cos(\eta + \mu) \cos \tau \end{aligned} \quad (7) \quad (8) \quad (9)$$

$$K_{1z_I} = 0, \quad K_{2z_I} = \cos \tau, \quad N_{3z_I} = \cos(\eta + \mu) \sin \tau,$$

$$K_{1x_I} = \cos(\eta + \mu) \quad K_{2x_I} = 0 \quad N_{x_I} = \sin(\eta + \mu)$$

$$K_{1y_I} = \sin(\eta + \mu) \quad (10) \quad K_{2y_I} = 0 \quad (11) \quad N_{y_I} = -\cos(\eta + \mu) \quad (12)$$

$$K_{1z_I} = 0, \quad K_{2z_I} = 1, \quad N_{z_I} = 0.$$

де τ - кут нахилу гвинтової лінії, що належить бічній задній поверхні, p - параметр гвинта, T - крок гвинтової поверхні,

$$p = \frac{T}{2\pi} = \frac{mz_I}{2\text{tg}\alpha_{\text{ук}}\text{tg}\alpha_{\xi_I}}, \quad (13) \quad \text{tg}\tau = \frac{\rho}{p}. \quad (14)$$

Кінематичний бічний задній кут дорівнює куту між зазначеними нормаллями:

$$\alpha_{\text{бок}} = \arccos \frac{\bar{N}_3 \cdot \bar{N}}{N_3 N}, \quad (15)$$

$$\alpha_{\text{бок}} = \arccos \frac{\cos \tau}{\sqrt{\cos^2 \tau + \cos^2(\eta + \mu) \sin^2 \tau}}. \quad (16)$$

Запропоновано алгоритм розрахунку бічного заднього кута:

1. Задаємо вихідну інформацію: значення μ, ρ, η для конкретних точок різальної кромки і значення визначального параметра α_{ξ_I} .

2. По формулі (13) обчислюємо значення параметра гвинта p для бічної задньої поверхні, що відповідає значенню α_{ξ_I} .

3. Для заданих значень ρ по формулі (14) обчислюємо значення кута τ .

4. Для точок різальної кромки довбача (для конкретних значень μ, ρ, η) по формулі (16) обчислюємо значення $\alpha_{\text{бок}}$.

Встановлено, що бічний задній кут $\alpha_{\text{бок}}$ – це насамперед функція визначного параметру α_{ξ_I} .

Виходячи з α_{ξ_I} , знаходимо параметр гвинта p , а потім задній кут $\alpha_{\text{бок}}$.

В результаті обчислювальних експериментів отримано графіки залежності бічного заднього кута $\alpha_{\text{бок}}$ від визначного параметра α_{ξ_I} в різних точках різальної кромки нового довбача для різних чисел зуб'їв (рис. 4).

Рис. 4. Бічний задній кут в різних точках різальної кромки нового довбача при різних значеннях параметра α_{ξ_I} ($m = 5$ мм, $z_1 = 32$).

У **четвертому розділі** досліджено зміни параметрів верстатних зачеплень і оброблюваних колес при переточках нових довбачів (рис 5). Для цього за допомогою відомих і нових

математичних описів було виконано значний обсяг комп'ютерних розрахунків.

Було зіставлено три варіанти: $\alpha_{\xi_1} = \alpha_{\text{верши}} = 6^\circ$ (варіант 1), $\alpha_{\xi_1} > \alpha_{\text{верши}}$ ($\alpha_{\xi_1} = 10^\circ$, $\alpha_{\text{верши}} = 6^\circ$) (варіант 2) і $\alpha_{\xi_1} < \alpha_{\text{верши}}$ ($\alpha_{\xi_1} = 6^\circ$, $\alpha_{\text{верши}} = 10^\circ$) (варіант 3). Варіантам 2 і 3 відповідали довбачі з роздільним завданням задніх поверхонь, а варіантові 1 – стандартні довбачі зі зв'язаними задніми поверхнями. В усіх трьох варіантах із заданим кроком змінювалася величина переточки b і розраховувалися числові значення всіх параметрів, що змінюються при переточках.

Параметрами, що змінюються при переточках, є:

- для довбачів: радіуси виступів і западин r_{B_1} і $r_{B_{П1}}$, коефіцієнт зсуву контуру ξ_1 , висота зуба h_1 і товщина зуба на вершинах S_{B_1} ;

- для верстатного зачеплення: сумарний коефіцієнт зсуву ξ_{Σ} , кут зачеплення α , коефіцієнт верстатного зсуву ξ , міжосьова відстань A , зрівняльний коефіцієнт зсуву $\xi_{ур}$, а також радіуси центрів r_{u_1}, r_{u_2} ;

Рис. 5. Схема алгоритму розрахунку параметрів з урахуванням переточок довбачів

- для оброблюваного колеса: радіус западин $r_{B_{П2}}$, висота зуба h_2 , радіус, що відповідає початковій перехідній кривій $r_{Г_2}$, висота перехідної кривої $h_{Г_2}$ й активна висота зуба $h_{акт2}$.

Параметри верстатного зачеплення у всіх варіантах розрахунку залежать тільки від коефіцієнта зсуву контуру довбача ξ_1 , значення якого при переточках рівномірно зменшується. Як наслідок, зменшуються також усі параметри верстатного зачеплення.

У варіанті 2 значення всіх параметрів верстатного зачеплення змінюються більш інтенсивно, чим у варіантах 1 і 3, що відбувається завдяки великим значенням кута α_{ξ_1} (10° замість 6°) і більш інтенсивному зменшенню коефіцієнта ξ_1 .

На параметри оброблюваного колеса діють два джерела впливу. З однієї сторони це визначальні параметри ξ_1 та r_{B_1} , що змінюються при переточках довбачів, а з іншого боку параметри верстатного зачеплення A, α, r_{u_2} , що змінюються при переточках. Такий складний вплив позначається як на величині значень параметрів оброблюваного колеса, так і на інтенсивності і характері їх змін при переточках. Так, у варіанті 2 завдяки співвідношенню $\alpha_{\xi_1} > \alpha_{\text{верши}}$ параметри ξ_1 й A зменшуються швидше, ніж радіус r_{B_1} , і тому зменшення радіуса западин $r_{B_{П2}}$ і збільшення висоти зуба h_2 мають монотонний характер. І, навпаки, для варіантів 1 і 3, що мають інше співвідношення кутів α_{ξ_1} і $\alpha_{\text{верши}}$, характерні немонотонні зміни.

Зміни при переточках радіуса $r_{Г_2}$, що відповідає граничній точці перехідній кривій, а також залежних від цього радіуса висоти перехідної кривої $h_{Г_2}$ й активної висоти зуба $h_{акт2}$ у всіх трьох варіантах мають складний немонотонний характер, що пов'язано з сумарним впливом параметрів ξ_1 і r_{B_1} . Параметр r_{B_1} впливає на $r_{Г_2}$ безпосередньо, а ξ_1 - через параметри верстатного зачеплення α і r_{u_2} .

Припустимі інтервали переточок довбачів з роздільним завданням задніх поверхонь можуть мати різні обмеження зі своїми відповідними граничними значеннями параметрів і граничними зв'язками між параметрами. Перша група цих обмежень відноситься до самих довбачів і враховує їх специфіку, друга – до оброблюваних колес, третя – до верстатних зачеплень, четверта – до робочих зачеплень.

Найбільш істотними вимогами, що обмежують інтервал переточок довбачів, є надмірне загострення зуб'їв довбача, відсутність зрізу вершин довбачів при виготовленні, відсутність

підрізання западин і зрізу вершин оброблюваних колес, обмеження припустимих значень висот зуб'їв і перехідних кривих, відсутність інтерференцій і забезпечення зазорів у робочих зачепленнях.

Існує діапазон можливих переточок довбача, обумовлений тільки його власними параметрами і не зв'язаний з оброблюваним колесом. Одне з вимог – це обмеження мінімально припустимої товщини зуба довбача на вершині S_{B1} заданим граничним значенням S_{B1min} :

$$S_{B1} \geq S_{B1min}, S_{B1} \geq 0.3m.$$

Якщо записати товщину зуба S_{B1} через інші параметри довбача, наприклад, через коефіцієнт зміщення ξ_1 , що змінюється при переточках, і вирішити відповідне трансцендентне рівняння відносно ξ_1 , одержуємо гранично припустиму по цьому обмеженні величину переточок b .

Одним з істотних вимог є відсутність (або регламентація) підрізу западини оброблюваного колеса вершиною довбача. Відповідно до цієї вимоги гранично припустиме верстатне зміщення щодо оброблюваного колеса ξ_{min} повинно бути таким, щоб коло довбача з радіусом r_{B1} при $\xi = \xi_{min}$ перетинало основне коло оброблюваного колеса в точці торкання його з лінією зачеплення.

Тут мають місце відомі з літератури гранична умова

$$r_{T2} \geq r_{O2}.$$

Граничну умову і граничний зв'язок можна виразити також за допомогою кутів тиску. Поняття "кут тиску $\alpha_{оав}$ " уведений Ф.Л.Литвином, близько до поняття "кут профілю евольвенти α_3 ". Однак поняття "кут профілю евольвенти α_3 " відноситься до точки евольвенти окремого колеса поза зв'язком із зачепленням, а "кут тиску $\alpha_{оав}$ " - до зачеплення двох точок евольвенти, що відповідають поточним радіусам r_{i1} і r_{i2} , і тоді значення $\alpha_{оав1}$ і $\alpha_{оав2}$ зв'язані через зазначені радіуси. В дисертації використано відомі загальні зв'язки між кутами тиску стосовні як до верстатного зачеплення довбача з оброблюваним колесом, так і до робочого зачеплення пари колес для визначення умов підрізу, зрізу вершин, інтерференцій.

Діапазон припустимих переточок довбача може бути обмежено також величиною активної висоти зуба $h_{акм2}$ оброблюваного колеса. При конструюванні зубчастого колеса, оброблюваного довбачем, задаються конкретні значення ξ_2 і h_2 . При різних переточках довбача ці значення витримуються (залишаються незмінними), а змінюється тільки перехідна крива з її параметрами r_{T2} і h_{T2} , і, отже, змінюється активна висота зуба $h_{акм2}$ ($h_{акм2} = r_{B2} - r_{T2}$). Тому конструктору слід завдати гранично припустимі значення $h_{акм2}$ і тим самим обмежити припустимий інтервал переточок довбача. При переточках довбача як зі зв'язаним, так і з роздільним завданням задніх поверхонь конкретне значення параметра ξ_2 обробленого колеса витримується незмінним, але змінюється не тільки перехідна крива, але і висота зуба колеса h_2 (і радіус r_{B12}) через зміну радіуса вершин довбача r_{B1} . Отже, у даному випадку конструктору слід завдати припустимі граничні значення h_2 і визначити відповідний їм діапазон переточок довбача. Тут параметри перехідної кривої оброблюваного колеса змінюються при переточках внаслідок зміни радіуса r_{B1} і міжосьової відстані A , але r_{B1} змінюється і впливає більш інтенсивно.

Помітимо, що при конкретній одній і тій же величині переточок довбачів значення A буде однаково через рівність параметру ξ_1 , але значення активної висоти зуба оброблюваного колеса $h_{акм2}$ залежить не тільки від параметрів перехідної кривої, але і від h_2 .

Аналізуючи функціональні зв'язки між параметрами для оброблюваного колеса, робимо висновок, що основні параметри, такі як радіус западин, висота зуба, радіус, що відповідає початку перехідної кривої, її висота і, отже, активна висота зуба колеса, обробленого стандартним довбачем, і вплив на них переточок відрізняються у порівнянні з довбачем з роздільним завданням задніх

поверхонь. Те ж саме можна сказати про параметри і вимоги, що стосуються до пари оброблюваних зубчастих колес. Звідси очевидна необхідність тісного взаємозв'язку між проектуванням нових довбачів і конструюванням оброблюваних ними зубчастих пар.

У п'ятому розділі описано вимоги до робочих зачеплень зубчастих колес і обумовлені ними обмеження переточок запропонованих довбачів.

При спільному взаємозалежному проектуванні довбачів і зубчастих пар із застосуванням селекції потрібно враховувати не тільки розглянуті вище вимоги до окремих оброблюваних зубчастих колес, але і вимоги до зубчастих пар у цілому. Це вимоги до зазорів у зачепленні, вимоги відсутності інтерференцій колес і забезпечення мінімально припустимого коефіцієнта перекриття. Стосовно до особливостей нового довбача вказані вимоги були визначені за допомогою відомих з літератури методів.

Результати досліджень і отримані математичні описи були використані в дисертації як теоретична основа для селекції, тобто спрямованого добору раціональних сполучень довбачів, їхніх переточок і оброблюваних колес.

У даній роботі запропоновано нові алгоритм і методика селекції переточок, які враховують специфіку і переваги довбачів з роздільним завданням задніх поверхонь, нові можливості сучасних верстатів із системами CNC і вимоги, що обмежують переточки.

Рекомендується наступний алгоритм селекції:

1. Підготувати вихідну інформація для селекції, а саме

- задати номенклатуру оброблюваних зубчастих колес і зубчастих пар даного модуля;
- визначити геометричні обмеження, обумовлені експлуатаційними і технологічними вимогами, призначити граничні значення (допуски) усіх параметрів, що забезпечують виконання зазначених обмежень при переточках довбачів;

- задати номенклатуру використовуваних довбачів даного модуля з їх основними параметрами $m, z_1, \alpha_{B_1}, \alpha_{\xi_1}$, у тому числі з повними інтервалами їхніх переточок ($a_{\max} + a_{\min}$);

- сформувані числові масиви значень усіх параметрів довбачів, верстатних зачеплень, оброблюваних колес і зубчастих пар, що змінюються при переточках.

2. Обчислити найбільшу і найменшу величини переточок b_{\max} і b_{\min} , що відповідають заданим граничним значенням усіх параметрів, що змінюються при переточках. Якщо різниця $b_{\max} - b_{\min}$ для всіх параметрів виявиться більше заданого повного інтервалу переточок, то допуски всіх параметрів і всіх геометричних обмежень будуть виконуватися при будь-якій переточці, і селекція не потрібна.

3. Якщо для одного або декількох параметрів умова по пункті 2 не виконується, то для них потрібно виконати селекцію, тобто відібрати припустимий інтервал переточок конкретного довбача, більш вузький у порівнянні з повним інтервалом. Решту переточок даного довбача потрібно використовувати у випадках, коли підходять усі переточки, або для інших вузьких інтервалів переточок. Зробити такий добір рекомендується для всієї номенклатури оброблюваних колес і довбачів даного модуля.

4. Практично реалізувати селекцію з використанням нових можливостей заточувальних і зубодовбальних верстатів із системами CNC. Здійснити формування, кодування, запам'ятовування і збереження повної інформації про переточки. Рекомендуються фіксовані переточки, що враховують критерії зносу, які запам'ятовуються комп'ютером заточувального верстата і забезпечуються його системою CNC з передачею інформації в комп'ютери зубодовбальних верстатів.

5. Всі етапи алгоритму селекції рекомендується виконувати в автоматизованому режимі в складі CAD системи.

По запропонованому алгоритму в дисертації за допомогою комп'ютерних розрахунків була реалізована селекція для різних сполучень довбачів, оброблюваних ними зубчастих колес і зубчастих пар з метою довести переваги запропонованих довбачів з новою геометрією і підтвердити доцільність їхнього використання.

Нижче представлено один із прикладів селекції переточок конкретного довбача, що обробляє

зубчасте колесо з заданими параметрами і їхніми геометричними обмеженнями, регламентованими експлуатаційними вимогами (рис. 6, 7).

Вихідною інформацією для здійснення селекції були: параметри зубчастого колеса ($m = 5 \text{ мм}, z_2 = 20, \xi_2 = 0.4, r_{O_2} = 46.986 \text{ мм}, r_{B_2} = 56.726 \text{ мм}$) і довбача ($z_1 = 32, \alpha_{\xi_1} = 10^\circ, \alpha_{B_1} = 6^\circ$). Числовою базою для селекції були розраховані раніше масиви значень параметрів, що змінюються при переточках. Це ті параметри оброблюваного колеса, на які встановлені геометричні обмеження і їхні математичні описи: відсутність підрізу западин ($r_{G_2} \geq r_{O_2}$), регламентація висоти перехідної кривій ($h_{G_2}^{\min_{\text{перед}}} \leq h_{G_2} \leq h_{G_2}^{\max_{\text{перед}}}$) і активної висоти зуб'їв ($h_{2, \text{акт}}^{\min_{\text{перед}}} \leq h_{2, \text{акт}} \leq h_{2, \text{акт}}^{\max_{\text{перед}}}$).

По мірі переточок довбача насамперед змінюються два параметри оброблюваного колеса - радіус западин колеса $r_{B_{П_2}}$ і радіус r_{G_2} , що відповідає початку перехідної кривої. Назвемо їх первинними, тому що саме вони при незмінному радіусі виступів r_{B_2} визначають висоту зуба колеса h_2 , висоту перехідної кривої h_{G_2} й активну висоту зуба $h_{акт_2}$.

Відповідно до заданих геометричних обмежень з поля числових масивів значень зроблено добір інтервалів припустимих переточок, що забезпечують ці обмеження, тобто припустимий інтервал величин переточок b . У даному прикладі, щоб зробити добір переточок, який забезпечує відсутність підрізу западин, було побудовано графік залежності радіуса r_{G_2} , що відповідає початку перехідної кривої, від величини переточки (див. рис. 6). По осі ординат відкладена величина радіуса основного кола r_{O_2} . Пряма, проведена з крапки, що відповідає цьому радіусові, не має перетинання з графіком функції $r_{G_2} = f(b)$, отже, умова відсутності підрізу западини виконується для всього повного інтервалу переточок.

Для добору переточок, що забезпечують задані граничні значення активної висоти зуба колеса і висоти перехідної кривої, побудовані графіки функцій первинних параметрів колеса від параметру b (аргументу функцій): $r_{G_2} = f_1(b)$, $r_{B_{П_2}} = f_2(b)$ і $r_{B_2} = f_3(b)$. Вісь абсцис відповідає поточній величині переточок. По осі ординат відкладені задані граничні значення активної висоти зуба $h_{2, \text{акт}}^{\min_{\text{перед}}}$, $h_{2, \text{акт}}^{\max_{\text{перед}}}$, висоти зуба $h_{2, \text{мін}}^{\text{перед}}$, $h_{2, \text{макс}}^{\text{перед}}$ і висоти перехідної кривої $h_{G_2}^{\min_{\text{перед}}}$, $h_{G_2}^{\max_{\text{перед}}}$. Від крапок перетинання прямих, що відповідають верхньому і нижньому граничному значенню розглянутого параметра з графіками функцій проводимо перпендикуляри на вісь b і таким чином знаходимо припустимий інтервал переточок (див. рис. 7).

Треба помітити, що припустимий інтервал переточок для розглянутих параметрів, тобто активної висоти зуба $h_{акт_2}$ і висоти перехідної кривої h_{G_2} автоматично є припустимим інтервалом переточок для функціонально зв'язаного з ними параметра h_2 .

Таким чином, припустимим є інтервал переточок від третьої до одинадцятої ($b = 3-11 \text{ мм}$). По інших обмеженнях підходить повний інтервал переточок (надмірне загострення товщини зуба довбача, зріз вершин і підріз западин оброблюваного колеса відсутні).

Рис. 6. Графік функції $r_{G_2} = f(b)$, що демонструє виконання обмеження відсутності підрізу западин ($r_{G_2} \geq 46.986$).

Рис. 7. Добір інтервалів припустимих переточок, що забезпечують задані граничні значення активної висоти зуба колеса і висоти перехідної кривої ($9 \leq h_{акт_2} \leq 9.3, 1.9 \leq h_{G_2} \leq 2$).

Аналіз комп'ютерних розрахунків свідчить про те, що при переточках запропонованих

довбачів утворюються розширені масиви значень параметрів, що змінюються, у порівнянні зі стандартними довбачами. Завдяки селекції це дозволяє в більшій мірі задовольняти задані геометричні обмеження і граничні значення припустимих параметрів, що змінюються при переточках нового довбача в зіставленні зі стандартними довбачами. Наприклад, стандартні довбачі з модулем 5 мм, числами зуб'їв 16, 20, 25, 32 на відміну від нових за результатами розрахунків виявляються зовсім непридатними при всіх переточках в інтервалі від 0 до 14 мм для обробки зубчастих колес з $z_2 = 20, \xi_2 = 0.4$ через неприпустимо малі зазори в робочому зачепленні з колесом, що сполучається, (менші, ніж $0.25m$).

Роздільне завдання задніх поверхонь і автономне керування задніми кутами розширює можливості переточок і робить запропоновані довбачі більш універсальними в порівнянні зі стандартними. Крім того, з'являється нова можливість цільової спрямованої селекції для рішення спеціальних відповідальних задач.

У дисертації розглянуто приклад цільової селекції переточок для спеціальної задачі збільшення коефіцієнту перекриття й активних висот зуб'їв шляхом додаткового збільшення радіусів виступів зубчастих колес. Використано наступні вихідні дані: для довбача $m = 5 \text{ мм}, z_1 = 20, \alpha_{\xi_1} = 10^\circ, \alpha_{B_1} = 6^\circ$, для оброблюваних колес $z_2 = 20, \xi_2 = 0.4, C_0 = 0.25, f_0 = 1, r_{B_2} = 56.726 \text{ мм}$, $z_3 = 35, \xi_3 = 0.2, C_0 = 0.25, f_0 = 1, r_{B_3} = 93.226 \text{ мм}$, для пари колес $A_{23} = 140.226 \text{ мм}, \alpha_{23} = 0.399, Z_{23}^{\text{станд}} = Z_{32}^{\text{станд}} = 1.25 \text{ мм}$.

Задачу вирішено по наступному алгоритму:

1. Формування масивів значень параметрів, що змінюються при переточках.
2. Визначення критеріїв селекції, що обмежують радіуси виступів колес, і вибір мінімальних значень відповідних їм параметрів $r_{ВП}, r_{Г}, S_B$.

3. Розрахунок найбільших можливих значень радіусів виступів:

$r_{B_{\text{заз}}^{\text{max}}}$ - за критерієм наявності стандартних зазорів,

$r_{B_{\text{шт}}^{\text{max}}}$ - за критерієм відсутності інтерференцій,

$r_{B_{\text{толщ}}^{\text{max}}}$ - за критерієм наявності заданих товщин зуб'їв на вершинах.

4. Вибір найбільших значень радіусів виступів, що задовольняють усім трьом критеріям.

5. Розрахунок нових (збільшених) значень коефіцієнту перекриття й активних висот зуб'їв.

Інформаційне поле для селекції містить отримані комп'ютерними розрахунками числові масиви значень параметрів $Z_{23}, Z_{32}, r_{ВП_2}, r_{ВП_3}, r_{Г_2}, r_{Г_3}$, що змінюються при переточках довбача.

Аналіз цих числових масивів показав, що максимальним зазором у зубчастій парі відповідає чотирнадцята переточка, і тому ця конкретна переточка довбача була відібрана для рішення задачі як резерв збільшення радіусів виступів зубчастих колес.

Далі були розраховані найбільші можливі при відібраній переточці значення радіусів виступів колес $r_{B_{2\text{шт}}^{\text{max}}}$ і $r_{B_{3\text{шт}}^{\text{max}}}$ за критерієм відсутності інтерференцій. У розрахунках використані з інформаційного поля значення параметрів $r_{ВП_2}, r_{ВП_3}, r_{Г_2}, r_{Г_3}$ для обраної переточки і значення міжосьової відстані в робочому зачепленні A_{23} . Менші з отриманих чотирьох значень радіусів виступів ($r_{B_{2\text{заз}}^{\text{max}}}$ і $r_{B_{3\text{заз}}^{\text{max}}}$), що задовольняють усім трьом критеріям, є новими збільшеними в порівнянні з колишніми. Була виконана також перевірка зазначених радіусів виступів за критерієм припустимої ширини зуб'їв на вершинах S_{B_2} і S_{B_3} (не більш $0.25m$). Наступний розрахунок показав, що завдяки цільовій селекції істотно збільшилися значення коефіцієнту перекриття в зубчастій парі ε й активних висот зуб'їв колес $h_{акт_2}$ і $h_{акт_3}$.

Результати дисертаційної роботи можна використовувати в теоретичному, методичному й інформаційному забезпеченні CAD систем різного рівня, призначених для спільного

взаємозалежного проектування зубчастих зачеплень, зуборізних інструментів і технології.

У підсистему проектування зубооброблюючих інструментів можуть бути включені теоретичне обґрунтування переваг запропонованих довбачів з роздільним завданням задніх поверхонь, рекомендації з вибору визначального параметру α_{ξ_i} , вихідних відстаней a_{\max} і a_{\min} , задніх кутів, періоду стійкості, а також методику і нові формули для розрахунку й аналізу параметрів.

Підсистема проектування зубчастих колес і зубчатих пар повинна містити отримані по методиці, що рекомендується в дисертації, досить повні і систематизовані числові масиви значень параметрів, які змінюються при переточках нових довбачів, а також обґрунтовані геометричні обмеження, обумовлені експлуатаційними і технологічними вимогами.

У взаємодії з підсистемою проектування довбачів зазначені числові масиви повинні бути використані як інформаційна база для обґрунтованої й ефективної селекції переточок нових довбачів по алгоритму, що рекомендується в дисертації.

Блок селекції поєднує обидві підсистеми і має забезпечувати раціональний добір інтервалів переточок по заданих обмеженнях для всієї номенклатури довбачів і оброблюваних колес і пар. Повинна бути також забезпечена можливість цільової селекції для спеціальних задач.

Технологічна підсистема повинна використовувати методику практичної реалізації селекції, що рекомендується в дисертації, наприклад, пов'язану з кодуванням, збереженням і пересиланням інформації про переточки й їхні інтервали, та аналізом інформації щодо оброблюваних колес.

Для практичного підтвердження правильності рекомендованої методики проектування нових довбачів в ув'язуванні з конструюванням зубчастих пар і з застосуванням селекції було проведено значний обсяг обчислювальних експериментів. Їхні результати свідчать про те, що довбачі з великим визначальним параметром α_{ξ_i} , отже з великим бічним заднім кутом $\alpha_{\text{бок}}$ не тільки мають високу стійкість, але є більш універсальними інструментами, здатними обробляти велику номенклатуру різних зубчастих колес і зубчастих пар при забезпеченні заданих геометричних вимог та обмежень.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить теоретичне обґрунтування і розробку нової конструкції зуборізних довбачів для підвищення стійкості та розширення можливостей селекції. У дисертації сформульовано наступні висновки:

1. Для підвищення працездатності й універсальності зуборізних довбачів доцільно розділити завдання задньої конічної поверхні з заднім кутом на вершинах зубів і бічних задніх поверхонь з бічними задніми кутами. Для такого поділу в новій конструкції бічні задні поверхні утворюються як огинаючі нахиленої інструментальної рейки в її обкатному русі відносно довбача. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити стійкість довбачів.

2. Отримана сукупність нових математичних описів запропонованих довбачів з роздільним завданням задніх поверхонь і геометричних умов зубодовбання достатня для теоретично обґрунтованого їх розрахунку та раціонального застосування в сучасному автоматизованому виробництві.

3. За допомогою аналізу розподілу напруг і температур по методу кінцевих елементів встановлено, що внаслідок несприятливих умов різання ділянкам зуба поблизу вершин відповідає найбільша інтенсивність зношування. Це підтверджує доцільність збільшення бічних задніх кутів з метою підвищення стійкості.

4. Запропоновано і теоретично обґрунтовано методику й алгоритм розрахунку бічних задніх кутів при обробці новим довбачем.

5. Результати виконаних обчислювальних експериментів і їх аналіз свідчать про те, що застосування різних варіантів завдання задніх поверхонь істотно впливають на інтенсивність і характер змін параметрів довбачів, верстатного зачеплення і оброблюваних колес при переточках.

6. Переваги удосконалених довбачів можуть бути використані для ефективної селекції переточок. Селекція забезпечує універсальність довбачів, тобто охоплення збільшеної номенклатури різних оброблюваних колес і пар, що особливо важливо в сучасному

автоматизованому виробництві. Можливо застосування цільової селекції для спеціальних задач.

7. Застосування запропонованих довбачів з їх раціональними параметрами і спрямоване автономне регулювання задніх кутів на різних задніх поверхнях поєднують підвищення стійкості довбачів і розширення можливостей селекції із забезпеченням заданих геометричних вимог та обмежень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кондусова Н.В. Приложение многопараметрических отображений пространства к определению кинематических геометрических параметров при зубодолблении // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2003. – Вип. 2(7) – С. 152-156.

2. Федорович В.А., Кондусова Н.В. Методика 3D моделирования среза и пятна контакта при зубодолблении // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004. – Вып. 69. – С. 98-108.

За допомогою багатопараметричних відображень простору здобувач виконав математичний опис відсіку передньої поверхні, що здійснює зрізання припуску при зубодовбанні.

3. Кондусова Н.В., Тимофеева Л.А. Путь, продолжительность резания и интенсивность съема припуска при зубодолблении // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальні залізничної техніки. – Харків: УкрДАЗТ. - 2004. – Вип.61 - С. 83-88.

Здобувач виконав теоретичний аналіз характеру та ступеню впливу різних геометричних і кінематичних параметрів на процес зубодовбання.

4. Кондусова Н.В. Методика определения задних углов при зубодолблении для долбяков с разделенными задними поверхностями // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2006. – Вып. 71. – С. 105-114.

5. Тимофеева Л.А., Кондусова Н.В. Трехмерное геометрическое моделирование съема припуска, формообразования и проектирования инструментов при обработке резанием // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальні залізничної техніки. – Харків: УкрДАЗТ. - 2006. – Вип. 79 - С. 85-90.

Здобувач розробив конкретні 3D моделі зняття припуску і формоутворення, які можуть бути адаптовані до можливостей сучасних пакетів і систем.

6. Кондусова Н.В. Анализ числовых массивов параметров зуборезных долбяков с разделенными задними поверхностями при их переточках // Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький: ХНУ. – 2007. - № 3, Т. 2 – С. 55-60.

7. Кондусова Н.В. Расчет информации о влиянии переточек долбяков на параметры обрабатываемых зубчатых колес при разных вариантах взаимного расположения задних поверхностей // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2007. – Вып. 72. – С. 108-115.

8. Зуборізний довбач для обробки евольвентних зубчастих колес: Патент на корисну модель № 22709. Україна, МПК В23D 11/00. Н.В. Кондусова. - U200613269; Заявлено 15.12.06; Опубл. 25.04.07, Бюл. № 5. – 4 с.

АНОТАЦІЇ

Кондусова Н.В. Підвищення ефективності зуборізних довбачів за рахунок використання автономних значень зовнішніх і бічних задніх кутів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2007.

Дисертацію присвячено розробці нової конструкції та методики проектування зуборізного довбача для підвищення його стійкості з забезпеченням необхідних геометричних обмежень параметрів оброблюваних зубчастих колес та розширенням можливостей селекції в умовах сучасного автоматизованого виробництва. В розробленій конструкції зуборізних довбачів кути, що визначають задні поверхні, задаються автономно. Конічна задня поверхня задана заднім кутом на вершині, а бічні задні поверхні – кутовим параметром нахилу лінійчатої поверхні як сукупності контурів рейки.

Встановлено нові функціональні зв'язки між параметрами довбача. Конкретизовано геометричну модель шару, що зрізується. Оцінено поля напруг і температур і визначено ділянки, які обмежують стійкість довбача. Запропоновано алгоритм розрахунку задніх кутів запропонованого довбача, методику його проектування та нову методику селекції переточок.

Ключові слова: процес зубодовбання, зуборізний довбач, переточка, інструментальна рейка, кутовий параметр, бічний задній кут, стійкість інструменту.

Кондусова Н.В. Повышение эффективности зуборезных долбяков за счет использования автономных значений наружных и боковых задних углов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2007.

Диссертация посвящена разработке новой конструкции и методики проектирования зуборезного долбяка для повышения его стойкости с обеспечением необходимых геометрических ограничений параметров обрабатываемых зубчатых колес и расширения возможностей селексии в условиях современного автоматизированного производства. В предложенной конструкции зуборезных долбяков углы, определяющие положение задних поверхностей, задаются автономно. Коническая задняя поверхность задана задним углом на вершине, а боковые задние поверхности – угловым параметром наклона к оси долбяка линейчатой поверхности, представляющей собой множество контуров рейки.

Проведен теоретический анализ предложенного долбяка, найдены его определяющие параметры и установлены новые функциональные связи между ними. С помощью отображений получены аналитические описания поверхности резания, скорости, пути и продолжительности резания, толщины и площади сечения среза при зубодолблении.

Для вывода формул кинематических углов конкретизировано известное теоретически строгое представление их как углов между соответствующими векторами суммарной скорости, касательных к режущей кромке, нормалей к передней и задним поверхностям и поверхности резания.

Оценка полей напряжений и температур резания методом конечных элементов подтвердила целесообразность использования долбяков с автономным заданием наружного и боковых задних углов. Характер полученных полей свидетельствует о неравномерном распределении значений напряжений и температур вдоль фасонной режущей кромки долбяка. Наибольшие значения соответствуют участкам вблизи вершин. У стандартных долбяков боковой задний угол на этих участках слишком мал (всего около 2°), что приводит к быстрому увеличению ширины ленточки износа. Раздельное задание задних поверхностей в предложенной конструкции долбяка позволяет автономно задавать и изменять задние углы на вершине и на боковых поверхностях, и тем самым обеспечивать их рациональные сочетания для повышения стойкости.

Исходя из анализа влияния определяющего углового параметра на боковой задний угол предложен и использован в вычислительных экспериментах алгоритм его расчета.

Разработаны также алгоритм расчета параметров и алгоритм селексии переточек, учитывающий специфику и преимущества долбяков с раздельным заданием задних поверхностей, а также новые возможности современных станков с системами CNC и требования, ограничивающие переточки. Алгоритм предусматривает формирование, кодирование, запоминание и хранение полной информации обо всех долбяках и обрабатываемых колесах из имеющейся или требуемой номенклатуры, включая данные обо всех параметрах и их ограничениях, массивы значений параметров колес и станочных зацеплений, изменяющихся при переточках, указания по селексии. По мере необходимости эта информация по компьютерным сетям может передаваться в компьютеры зуборезных станков. Рекомендуются фиксированные переточки, учитывающие критерии износа, запоминаемые компьютером заточного станка и обеспечиваемые системой CNC.

Сформулированы требования к долбякам, обрабатываемым колесам и зубчатым парам, которые ограничивают допустимые интервалы переточек при селексии.

На базе числовых массивов параметров произведена селексия для различных сочетаний

долбяков, обрабатываемых колес и зубчатых пар. Анализ результатов селекции показал, что долбяки с отдельным заданием задних поверхностей по сравнению со стандартными обеспечивают увеличенный массив значений параметров, используемых при селекции, и тем самым расширяют ее возможности. Долбяки со значительным значением определяющего углового параметра, и, следовательно, со значительным боковым задним углом не только обладают высокой стойкостью, но являются более универсальными инструментами, способными обрабатывать большую номенклатуру различных зубчатых колес и зубчатых пар при обеспечении заданных геометрических ограничений их параметров.

Таким образом, отдельное задание задних поверхностей и селекция улучшают использование долбяков в современном автоматизированном производстве, делают его более целенаправленным и эффективным.

Ключевые слова: процесс зубодолбления, зуборезный долбяк, переточка, инструментальная рейка, угловой параметр, боковой задний угол, стойкость инструмента.

Kondusova N.V. Increase of efficiency shaving ram due to use of self-regulating values of external and lateral back angles. – Manuscript.

Thesis for the Degree of Candidate of Technical Sciences on specialty 05.03.01 – Machining processes, machine tools and tools. – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2007.

The dissertation is devoted to development of a new design and a technique of designing shaving ram for increase of its stability maintenance of necessary geometrical accuracy shaping processable cogwheels and expansion of opportunities of selection in conditions of flexible manufacture. In the developed design shaving rams angles which define back surfaces, are independently set. The conic back surface is set by a back angle at top, and lateral back surfaces - angular parameter of an inclination ruled surface which represents set of strip contours.

The kinematics and dynamics of cutting on separate technological elements of cutting edges is studied by a method of final elements. New functional communications between parameters rams are established. The model of a cut off layer is developed. The algorithm of calculation of back angles offered ram, a technique of its designing and a new technique of selection is offered.

Keywords: gear shaping, shaving ram, refile, strip, angular parameter, lateral back angle, tool life.