



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78364 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
B23F 5/00  
B23F 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

## (54) СПОСІБ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДИСКОВИХ ТА ВІНЦЕВИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

1

(21) а200502514  
(22) 21.03.2005  
(24) 15.03.2007  
(46) 15.03.2007, Бюл. № 3, 2007 р.  
(72) Мельничук Петро Петрович, Скочко Євген Вікторович  
(73) ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(56) Беспалов Б.Л., Глейзер Л.А., Колесов И.М., Латышев Н.Г., Соловьев С.Н., Чарнко Д.В. Технология машиностроения: Специальная часть. - М.: Машиностроение, 1965. - С. 320-326, 332  
SU 867541, 30.09.1981  
SU 740420, 15.06.1980  
(57) Спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс, що включає послідовно виконувати заготівельну та токарну обробку з формоутворенням вінця та диска, чорнову зубо-

2

обробку, термообробку та фінішну зубообробку, який відрізняється тим, що додатково виконують кінцеву токарну обробку вінця та диска, яку проводять після фінішної зубообробки, причому настановальний кут нахилу зубців зубообробного інструмента на верстаті визначають за формулою:

$$\omega = \omega_{\text{роз}} + k \left( \omega_k + \arctg \frac{m}{B} \right),$$

де:  $\omega_{\text{роз}}$  - розрахунковий кут нахилу зубців зубообробного інструмента;

$k$  - коефіцієнт корекції,  $k = 0,01 \div 0,001$ ;

$\omega_k$  - необхідний кут нахилу зубців колеса, що оброблюють;

$m$  - модуль зубців зубчастого колеса;

$B$  - ширина вінця зубчастого колеса.

Спосіб обробки належить до галузі машинобудування, а саме до технології обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс.

Відомий спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс [[1], с. 18-20; [2], с. 468], заготовки яких отримують шляхом лиття з однієї з марок чавуну, латуні чи бронзи. Відомий також спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс [[1], с. 21-23; [2], с. 465-467], заготовки яких отримують шляхом штампування, кування або висаджування з пластичних сталей або сплавів. На заготовках, що отримані обома відомими способами, формують обод, вінець та диск (або спиці). Токарна обробка виконується лише частково: торців, зовнішньої циліндричної поверхні та отвору колеса. Останньою виконують зубообробку.

Загальними суттєвими ознаками відомих способів обробки та способу, що заявляється, є спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс, який включає заготівельну обробку з формоутворенням вінця та диска та зубообробку.

Проте, відомий спосіб обробки циліндричних

дискових та вінцевих зубчастих коліс, які виготовляються з непружних та крихких матеріалів, не дозволяє отримати пружну компенсацію недоліків виготовлення (наприклад, похибку кута нахилу зубців) при роботі в зачепленні з парною шестірнею. З іншого боку, відносно велика деформованість вінцевих та дискових (або зі спицями) зубчастих коліс призводить до отримання при зубонарізанні значних похибок в величинах кутів нахилу зубців прямозубих і косозубих коліс, биття зубців тощо. Відсутність подальшої механічної обробки вінців та диску (або спиць), які характеризуються неправильною формою та змінними розмірами перерізів, визначає значні коливання у величинах локальної жорсткості колеса, а значить, і змінність у величинах вказаних похибок.

Таким чином, обидва відомі способи обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс дозволяють отримати лише невисокі точність і довговічність, а також незначні несучу спроможність та надійність зубчастої передачі, до складу якої входять ці колеса.

Найбільш близьким аналогом способу, що заявляється, і вибраним як прототип, є спосіб оброб-

(13) C2

(11) 78364

(19) UA

ки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс [3]. Спосіб-прототип складається із заготівельної обробки (поковки, отриманої вільним куванням або одним з видів штампування сталених заготовок), в якій попередньо отримується форма вінців, диска та отвору, зенкування і розточування отвору та почергова токарна обробка зовнішньої поверхні і торцевих поверхонь (вінця та диска), а також протягування отвору. Після чорнової зубообробки виконується шевінгування зубців (не завжди), а після термообробки [4] виконується фінішна зубообробка (наприклад, шліфування зубців).

Загальними суттєвими ознаками способу за прототипом та способу, що заявляється, є спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс, який включає послідовно виконувати заготівельну та токарну обробку з формоутворенням вінця та диска, чорнову зубообробку, термообробку та фінішну зубообробку.

Проте, спосіб за прототипом призводить до створення низки похибок форми та розмірів зубців колес, пов'язаних зі специфікою інструментально-верстатних особливостей зубообробки. Серед найбільш суттєвих похибок виготовлення циліндричних зубчастих коліс варто назвати похибки кутів нахилу зубців як прямозубих, так і косозубих коліс, биття зубців тощо. Похибки величин кутів нахилу зубців колес призводять до зміщення плями контакту з парною шестірнею в зачепленні на край зубців, зменшення величини площі плями контакту та, відповідно, збільшення контактної тиску в передачі. Це означає зменшення строку служби зубчастої передачі та зниження її надійності. Подібні проблеми виникають як при виготовленні, так і при експлуатації реальних зубчастих передач, до складу яких входить дане зубчасте колесо. Так, внаслідок похибок монтажу зубчастих коліс та валів з ними, деформування валів тощо також виникає зміщення плями контакту на край зубців [5], збільшується контактний тиск, знижується несуча спроможність зубчастої передачі, виникає передчасне її руйнування.

Причинами створення похибок в величині кута нахилу зубців циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс при чорновій зубообробці можуть бути: несиметричність зрізаних шарів припуску для правої та лівої різальних кромок зубців черв'ячної фрези чи довбача, нерівномірність їх зношування, невідповідність відповідних колових (тангенційних, дотичних до кола) сил різання тощо. Крім того, при обробці зубців вказаних коліс має місце неодноразовий вхід і вихід правої та лівої різальних кромок зубців черв'ячної фрези чи довбача в міжзубцеві западини колеса, що також порушує колову врівноваженість колеса при його обробці. Результатом діючих сил стає небажаний додатковий поворот колеса при його обробці, що викликає зміну розрахункової величини кута нахилу зубців. Живильним середовищем для зростання похибок величин кутів нахилу зубців коліс є обмежена жорсткість діляльних ланцюгів зубообробних верстатів та наявність люфтів в зубчастих передачах. Суттєвим недоліком також є обмежена жорсткість заготовок дискових та вінцевих зубчастих коліс. Подібні похибки величин кутів нахилу зубців створюються і при фінішній зубообробці - шевінгу-

ванні незагартованих коліс і/або шліфуванні загартованих - зважаючи на значні тангенційні складові сил різання цими інструментами, що характеризуються великими негативними величинами передніх кутів лез, які зазвичай мають місце при зрізанні тонких шарів припуску.

Таким чином, спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс за прототипом забезпечує отримання лише невисокої точності, низької несучої спроможності та невисокої довговічності зубчастих передач, до складу яких входить вказане зубчасте колесо.

Метою способу обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс є підвищення точності та несучої спроможності, подовження довговічності зубчастих передач, до складу яких входить дане зубчасте колесо.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення способу обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс шляхом доцільної зміни їх жорсткості, як при виготовленні, так і при експлуатації. Так при виготовленні коліс виконання зубообробки відразу після токарної обробки диска та вінця, коли вони мають ще високу жорсткість, дозволяє досягти меншого зниження точності виготовлення, наприклад, похибки величини кута нахилу зубців. Навпаки, виконання додаткової кінцевої токарної обробки диска та вінця колеса після фінішної зубообробки дозволяє суттєво знизити його жорсткість. При експлуатації це призводить до легкого самовстановлювання зубців колеса по зубцях парної шестерні в зубчастій передачі. Останнє викликає збільшення площі плями контакту між зубцями та відповідне зменшення контактної тиску. За рахунок цього підвищується несуча спроможність передачі та зростає довговічність коліс. Додатковий позитивний ефект може бути досягнутим за рахунок коригування кута нахилу зубооброблюючого інструмента та спеціальної настройки диференціального ланцюга верстата.

Таким чином, завдяки запропонованому способу обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс досягається підвищення їх точності, зростання несучої спроможності та довговічності зубчастих коліс.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс, який включає послідовно виконувати заготівельну та токарну обробку з формоутворенням вінця та диска, чорнову зубообробку, термообробку та фінішну зубообробку, введені нові суттєві ознаки. Згідно з винаходом, в спосіб обробки додатково виконують кінцеву токарну обробку вінця та диска, яку проводять після фінішної зубообробки, причому настроювальний кут нахилу зубців зубообробного інструмента на верстаті визначають за формулою:

$$\omega = \omega_{\text{роз}} + k \left( \omega_k + \arctg \frac{m}{B} \right),$$

де:  $\omega_{\text{роз}}$  - розрахунковий кут нахилу зубців зубообробного інструмента;

k - коефіцієнт корекції, k = 0,01...0,001;

$\omega_k$  - необхідний кут нахилу зубців колеса, що оброблюють;

$m$  - модуль зубців зубчастого колеса;

$B$  - ширина вінця зубчастого колеса.

Оскільки при зубообробці діють значні сили різання, то для отримання мінімальних похибок при виготовленні зубців колеса потрібно мати велику його жорсткість. Це досягають завдяки виконанню чорнової та фінішної зубообробки відразу після токарної обробки диска та вінця, коли жорсткість колеса ще велика. Бажано товщину диска та вінця, отриманих після токарної обробки, вибирати збільшеними у порівнянні з рекомендаціями [2], с.467, табл. 4.26.

У зв'язку з несиметричним навантаженням правих та лівих різальних кромки зубців зубообробних інструментів [6] та обмеженою жорсткістю технологічних систем при зубообробці виникає небажаний додатковий поворот заготовки колеса (особливо на вході та виході різальних кромки колеса), що викликає спотворення величини кута нахилу зубців. Вказане за формулою коригування величини кута нахилу зубців виконують установкою зубооброблюючого інструмента, а його відносних рухів - за допомогою відповідної додаткової настройки диференціального механізму зубообробного верстата.

Додаткове виконання кінцевої токарної обробки з метою остаточного формоутворення вінця та диска колеса до досягнення їх зменшених товщин у порівнянні з розмірами за рекомендаціями [[2], с.467, табл. 4.26] дозволяє суттєво знизити його локальну крутильну жорсткість навколо радіуса, який співпадає з частиною міжцентрової відстані з парною шестірнею в зубчастому зачепленні, що дозволяє виправити не тільки власні похибки величин кута нахилу зубців колеса, а й похибки шестірні в процесі взаємного самовстановлювання їх зубців. Це відбувається як шляхом миттєвого повороту навколо вказаного радіуса так і шляхом миттєвого повороту в площині, що проходить через осі колеса та шестірні.

Дія вказаних складових підвищення точності за рахунок збільшення жорсткості заготовки колеса та коригування відносного кутового положення зубооброблюючого інструмента при виготовленні, а також самовстановлювання зубців колеса по парній шестірні в передачі завдяки зменшенню жорсткості колеса при його експлуатації, дозволяє досягти зменшення контактного тиску, підвищенні несучої спроможності передачі та зростання строку служби колеса.

Суть запропонованого винаходу пояснюється кресленнями. Перелік креслень:

- на Фіг.1 показано осьовий переріз одного з варіантів заготовки циліндричного дискового зубчастого колеса з виконаною токарною обробкою диска, вінця та отвору;

- на Фіг.2 показано переріз повністю обробленого дискового зубчастого колеса з додатковою кінцевою токарною обробкою диска та вінця, яка виконана після фінішної зубообробки;

- на Фіг.3 показано переріз повністю обробленого вінцевого зубчастого колеса з додатковою кінцевою токарною обробкою вінця, яка виконана після фінішної зубообробки;

- на Фіг.4 показано переріз повністю обробленого пружного дискового зубчастого колеса з до-

датковою кінцевою токарною обробкою вінця та диска, яка виконана після фінішної зубообробки;

- на Фіг.5 показана типова похибка обробки черв'ячною фрезею кута нахилу зубців косозубого колеса;

- на Фіг.6 показана типова похибка обробки довбачем кута нахилу зубців прямозубого колеса;

- на Фіг.7 показаний варіант попередження створення похибки кута нахилу зубців колеса за допомогою додаткового повороту шевера (показані лише зубці шевера - без стружкових канавок);

- на Фіг.8 показано примусове деформування колеса при експлуатації в контакт з його зубців з зубцями парної шестірні (остання не показана); навколо радіуса, що є частиною їх міжцентрової відстані;

- на Фіг.9 показано примусове деформування дискового колеса при експлуатації в контакт з парною шестірнею в їх загальній осьовій площині;

- на Фіг.10 показано примусове деформування вінцевого колеса при експлуатації в його контакт з парною шестірнею в їх загальній осьовій площині;

- на Фіг.11 показане примусове деформування дискового пружного колеса при експлуатації в його контакт з парною шестірнею, коли одне з них (або обидва) мають похибки кута нахилу зубців та їх биття.

Відомо [6], що при обробці зубчастих коліс зуборізальними інструментами має місце тангенційне несиметричне навантаження лівих і правих різальних кромки інструментів шарами припуску, що зрізаються, а також неодноразовий їх вхід та вихід в контакт з колесом. Дія цих сил призводить до небажаного закручування ділянок ланцюгів верстатів, які звичайно характеризуються малою жорсткістю та люфтами. У зв'язку з найбільшим закручуванням на початку і в кінці контакту з колесом, ця деформація відтворюється у вигляді створюваної похибки кута нахилу зубців. Так при обробці черв'ячною фрезею косозубого колеса з розрахунковим кутом нахилу зубців, рівним куту  $\omega$ , реальне значення кута нахилу зубців буде рівним куту  $(\omega - \delta)$ . Аналогічно, при обробці прямозубого колеса (тобто коли кут  $\omega=0$ ), реальне значення кута нахилу зубців буде рівним куту  $\delta$  (Фіг.5 та 6).

У вказаних умовах, вирішення задачі підвищення точності виготовлення колеса може вирішуватись двома шляхами: як підвищенням жорсткості заготовки колеса, так і попереджувальною, коригуючою (компенсаційною) настройкою зубообробного верстата.

Заявлений спосіб здійснюється таким чином.

Спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс складається із заготівельної та токарної обробки заготовки колеса (Фіг.1), що має зубчастий вінець 1 та диск 2. На заготівці колеса послідовно виконують чорнова зубообробка, чистова - шевінгуванням (не завжди), термообробка та фінішна зубообробка (шліфування чи інша). Завдяки високій жорсткості заготовки колеса (вінець і диск повинні мати значні величини товщин, збільшені у 1,1...1,6 разів [2], с.467, табл. 4.26) зменшуються відносно стандартної технології виготовлення похибки в величинах кутів нахилу зубців, їх битті тощо.

Зменшення величини похибки кута нахилу зу-

бців, викликаних зубообробним верстатом через обмежену його жорсткість, виконується коригуванням величин кутів нахилу зубців зубообробного інструмента, який визначають за формулою:

$$\omega = \omega_{\text{роз}} + k \left( \omega_k + \text{arctg} \frac{m}{B} \right),$$

де:  $\omega_{\text{роз}}$  - розрахунковий кут нахилу зубців зубообробного інструмента;

$k$  - коефіцієнт корекції,

$k = 0,01 \dots 0,001$ ;

$\omega_k$  - необхідний кут нахилу зубців колеса, що оброблюють;

$m$  - модуль зубців зубчастого колеса;

$B$  - ширина вінця зубчастого колеса.

Математичний вираз, що записаний в дужках, разом з коефіцієнтом корекції  $k$ , дорівнює величині кута  $\delta'$  коригування. Тобто коригувати значення кута нахилу зубців зубообробного інструмента, потрібно у напрямку, протилежному утвореній похибці кута (див. Фіг.5 та 6). Для збереження величини кута нахилу зубців колеса при чистовій обробці, наприклад, шевером потрібно останній повернути на кут, рівний  $\delta'$  - до досягнення одночасного входу та виходу з контакту правої та лівої сторін зубців зубообробного інструмента (на Фіг.7 показано лише переріз зубців шевера - без стружкових канавок). Величину коефіцієнта корекції, рівну  $k=0,01$ , потрібно використовувати у випадку співпадання чинників: важкооброблювального матеріалу колеса, старого верстата та зношеного зубообробного інструмента. Навпаки, значення  $k=0,001$  треба вживати у випадку співпадання чинників: матеріалу колеса з коефіцієнтом оброблюваності, близьким до одиниці, новим верстатом та перезагостреним інструментом. У випадку одночасного неспівпадання вказаних чинників, потрібно використовувати проміжні значення коефіцієнта  $k$ . Коригування ділительних ланцюгів верстатів виконується за допомогою відповідних настройок диференціалів (навіть у випадку обробки прямозубих коліс).

Після фінішної зубообробки виконується додаткова кінцева токарна обробка вінця 1 та диска 2, яка дозволяє отримати остаточне формоутворення зубчастого колеса (Фіг.2, 3, 4). Товщини вінця та диску коліс потрібно зменшити у 1,1...1,6 разів відносно товщин, рекомендованих [2], с.467, табл. 4.26). Таке колесо буде мати суттєво нижчу експлуатаційну жорсткість для створення умов самовстановлення зубців колеса по зубцям парної шестірні в передачі. Таке самовстановлення буде мати місце як навколо радіуса, що є частиною

міжцентрової відстані між осями колеса та шестірні (див. Фіг.8), так і в загальній осьовій площині колеса та шестірні (див. Фіг.9, 10 та 11). Завдяки вказаному самовстановлюванню збільшується величина площі дотику на всю ширину зубців колеса, знижується контактний тиск, результатом чого стає підвищення несучої спроможності колеса та передачі, зростання строку служби та надійності передачі. Досягнення двох ефектів - підвищення точності виготовлення кута нахилу зубців колеса та самовстановлювання зубців колеса по зубцям парної шестірні - дозволяють додатково збільшити ширину вінця конструкції колеса і, таким чином, зменшити контактні і згинні напруження, що разом забезпечує суттєве підвищення несучої спроможності передачі з даним колесом.

Виконання диску зубчастого колеса у вигляді гофра (Фіг.11) дозволяє зменшити негативний вплив на роботу зачеплення колесо-шестірня не тільки похибок кутів нахилу зубців, а й биття їх зубців.

Таким чином, запропонований спосіб обробки циліндричних дискових та вінцевих зубчастих коліс дозволяє досягти підвищення точності та несучої спроможності, подовження довговічності зубчастих передач, до складу яких входить дане зубчасте колесо.

Джерела інформації:

1. Производство зубчатых колес: Справочник /С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.; Под общ. ред. Б.А. Тайца. - 3-е изд. перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1990. - С. 18-20; 34-37; 46-49.
2. Заплетохин В.А. Конструирование деталей механических устройств: Справочник. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1990. - С. 448-451; 467; 468.
3. Беспалов Б.Л., Глейзер Л.А., Колесов И.М. и др. Технология машиностроения: Специальная часть. -М.: Машиностроения, 1965. - С. 320-326;332.
4. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов /С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев и др. - 5-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. - С. 90.
5. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин: Підручник - К.: Вища шк., 1993. - С. 296.
6. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и режущие инструменты" / Г.Н. Сахаров, О.Е. Арбузов и др. - М.: Машиностроение, 1989. - С.201, рис. 3.33.

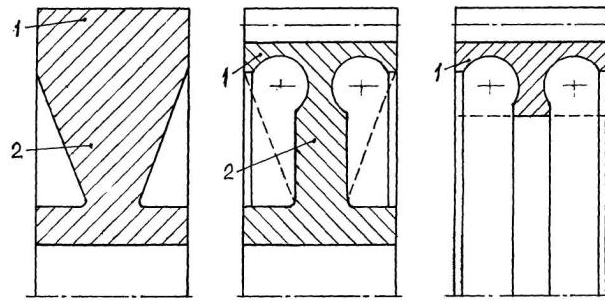


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

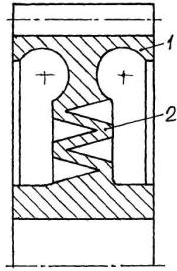


Fig. 4

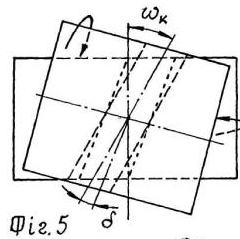


Fig. 5

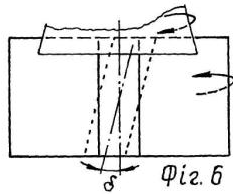


Fig. 6

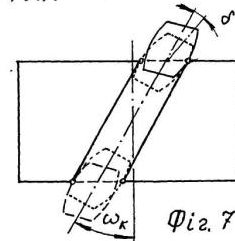


Fig. 7

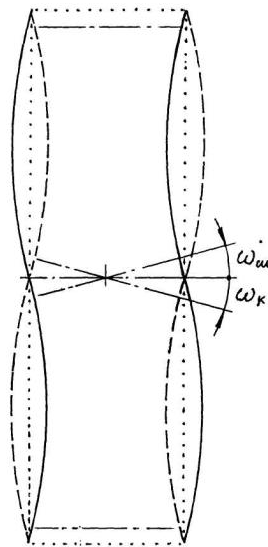


Fig. 8

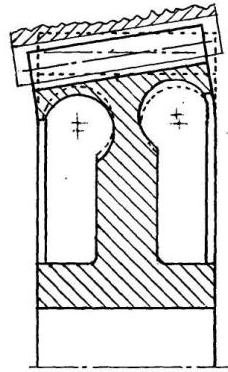


Fig. 9

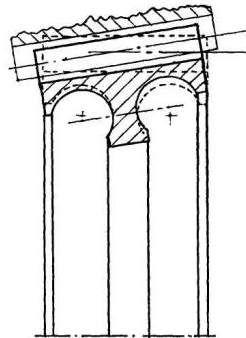


Fig. 10

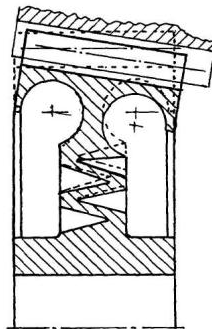


Fig. 11