

В.С. Надєїн, канд. техн. наук, Кіровоград, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ДИСКОВОГО ШЕВЕРА

У зв'язку з використанням в приводах сучасних машин зубчастих коліс з великим зміщенням вихідного контура застосування стандартних шевєрів не завжди можливе, а розрахунок спеціального шевєра вимагає спеціальних знань і досвіду. В статті наведені теоретичні основи розрахунку шевєра з урахуванням модифікації профілю колеса при зміщенні вихідного контура.

В связи с использованием в приводах современных машин зубчатых колес с большим смещением исходного контура применение стандартных шевєров не всегда возможно, а расчет специального шевєра требует специальных знаний и опыта. В статье приведены теоретические основы расчета шевєра с учетом модификации профиля колеса при смещении исходного контура.

In connection with the use of modern machinery drives gears with a large displacement of the output circuit applying the standard shever not always possible, and the calculation of special shever requires special knowledge and experience. In the article the theoretical bases of calculation shever considering modification profile wheels for shifting the output circuit.

Шевінгування евольвентних зубчастих коліс широко використовується в машинобудуванні. Але використання шевєрів, виконаних за ГОСТ 8570-80, не завжди забезпечує потрібні показники якості, особливо якщо оброблюване колесо малозубе або має великий коефіцієнт зміщення вихідного контуру. Причини цього явища різноманітні, і, на нашу думку, принаймні дві з них органічно притаманні класичному процесу шевінгування.

Першою, і головною, причиною є наявність неспряженості виробляючої поверхні шевєра і оброблюваної поверхні зуб'їв колеса. Другою причиною є те, що верстатне зачеплення шевєр-оброблюване колесо як гвинтове евольвентне не може бути реалізоване.

В таких випадках виникає необхідність проектування і виготовлення спеціального шевєра. Хоча виготовлення спеціального шевєра є трудомістким процесом, в інструментальному виробництві на даний час цей процес є достатньо освоєний. Відносно розрахунку шевєрів такого висновку дійти не можна з ряду причин.

Стан проблеми. Аналіз класичних процесів шевінгування, найбільш поширених в машинобудуванні, приводить до висновку, що при відсутності кінематичного зв'язку між осями шевєра і колеса, тобто при так званому вільному обкаті, похибки зубчастого вінця, отримані на попередніх операціях, успадковуються. Крім того, виникають в процесі обробки похибки, пов'язані з неспряженістю верстатного зачеплення [1]. Урахування цих явищ дозволяє отримати шевінгуванням колеса 5-6 ступеня точності. Ця особливість проце-

су шевінгування не враховується як при розробці операцій шевінгування, так і при проектуванні самого шевера.

Причина неможливості реалізації верстатного зачеплення шевер-колесо полягає в наступному. Верстатне зачеплення при шевінгуванні описується сукупністю параметрів оброблюваного колеса і шевера, зв'язаних законом руху зубчастого механізму шевер-колесо на кожному проході

$$i = \frac{z_1}{z_0} = \frac{d_{w1} \cdot \cos \beta_{w1}}{d_{w0} \cdot \cos \beta_{w0}}, \quad (1)$$

і законом спряженості зачеплення шевер-колесо [1].

$$z_1(\text{inv} \alpha_{w1} - \text{inv} \alpha_{r1}) + z_0(\text{inv} \alpha_{w0} - \text{inv} \alpha_{r0}) - 2 \text{tg} \alpha (x_1 + x_0 + x_{r1}) = 0, \quad (2)$$

де i – передатне число;

d_{w1}, d_{w0} – початкові діаметри колеса і шевера;

z_1, z_0 – числа зуб'їв колеса і шевера;

β_{w1}, β_{w0} – початкові кути нахилу зуб'їв колеса і шевера;

$\alpha_{wti}, \alpha_{rti} - (i = 1, 0)$, α – початкові, торцеві і головний кут профілю колеса і шевера;

x_1, x_0 – коефіцієнти зміщення вихідного контуру шевера і колеса;

x_{r1} – коефіцієнт зміни товщини зуба колеса-заготовки із-за наявності припуску на обробку.

Параметри оброблюваного колеса відомі, так як вони є заданими. Параметри шевера необхідно задати. Оскільки параметри шевера суттєво впливають на верстатне зачеплення, методика розрахунку шевера.

На сьогодні в практиці проектування шеверів використовується дві методики розрахунку.

Перша методика полягає в наступному [2,3]. За відповідними правилами призначають параметри шевера – кут нахилу зуб'їв β_0 , їх кількість z_0 . Далі призначають припуск на переточування шевера Δ і розраховують шевер як звичайне колесо із збільшеною товщиною зуба. Після цього виконують перевірку правильності обробки колеса. В разі невідповідності якості обробки вимогам креслення змінюють значення Δ і повторюють розрахунок. Така процедура виконується до тих пір, поки не будуть виконані вимоги до якості обробки. Ця методика має недолік, який полягає в тому, що прийнята величина Δ може не належати до області існування верстатного зачеплення. А це означає що треба змінювати параметри верстатного зачеплення за рахунок зміни параметрів шевера і визначити придатність його для обробки.

Відповідно із другою методикою розрахунку шевера [4] після визначення вихідних параметрів шевера призначають незалежно від їх величини нормальний кут верстатного зачеплення $a_{nl} = a_0 + \Delta a$, де a_0 – кут профілю вихідного контуру, Δa – додання до кута a_0 , $\Delta a = 1^0 \dots 1,5^0$ в залежності від a_0 . Далі визначають необхідні до перевірки верстатного зачеплення параметри і виконують перевірку якості обробки колеса. В разі невиконання умов переві-

рки – змінюють Δa і виконують розрахунок знову. Така процедура повторюється аж доки не будуть виконані умови перевірки. Аналогічно діють при розрахунку сточеного шевера з тією різницею, що Δa віднімають від a_0 .

По суті ця методика відрізняється від попередньої тільки кількістю і порядком визначення параметрів шевера (нового або сточеного) і верстатного зачеплення для виконання перевірок.

Таким чином, обидві методики мають недоліки, головними з яких є:

1. Наявність неспряженості верстатного зачеплення на кожному переході, внаслідок чого похибки попередньої зубообробки успадковуються, або виникають при шевінгуванні;

2. Прийнятий спосіб утворення припуску на переточування не враховує геометрію зуба оброблюваного колеса, внаслідок чого процес розрахунку зводиться, в принципі, до «вгадування» значень Δ та d_{01} ;

3. Труднощі виробу напрямку варіювання керувальними параметрами верстатного зачеплення може привести до незбіжності процесу розрахунку шевера при даних вихідних параметрах.

Враховуючи те, що на сьогодні способи виготовлення шевінгуванням евольвентних коліс 6-4 ступеня точності існують і використовуються у виробництві; те, що сучасні інструментальні матеріали здатні ефективно оброблювати сталі, загартовані до 45-50 HRC; а також те, що створення методики розрахунку шеверів, в якій враховано отримання точності обробки за рахунок забезпечення спряженості верстатного зачеплення і спрощення розрахункового циклу дозволить зменшувати витрати на виробництво, можна стверджувати, що вирішення цієї задачі є актуальним як для практики зубообробки, так і для розвитку теорії зубообробляння.

Виходячи із сказаного, розробка теоретичних основ удосконалення методики розрахунку дискового шевера, спряженого з оброблюваною поверхнею зубів колеса, складає мету даного дослідження.

Надалі будемо вважати, що параметри оброблюваного колеса, для якого проектується шевер, відомі. Відомими будемо вважати припуск на товщину зуба колеса і різницю міжосьових відстаней на першому і останньому проходах обробки.

Відомо [5], що гвинтові евольвентні передачі, до яких відноситься і верстатне зачеплення при шевінгуванні, дуже чутливі до зміни міжвісєвої відстані. Якщо розглядати верстатне зачеплення на першому чорновому проході і на останньому чистовому проході, то різниця міжосьових відстаней в цих положеннях становить $\Delta a = \Delta S / \operatorname{tg} \alpha$, де ΔS – припуск на сторону зуба. Якщо кут перехрещування осей в кінці обробки $\Sigma = \beta_0 + \beta_1$ і буде такий же на проході першому чорновому, то на всіх, передуючих останньому, проходах поверхні зубів колеса і виробна поверхня шевера є не спряженими і похибки обробленої поверхні будуть, як мінімум, дорівнювати цій неспряженості.

Для того, щоб зачеплення на будь-якій фазі передачі руху було спряженим, необхідно виконання умови спряженості на будь-якій фазі верстатного зачеплення

$$\frac{\cos \alpha_{wi}}{\cos \alpha} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_{wi}} = \frac{\sin \beta_0}{\sin \beta_{wi}}. \quad (3)$$

Це рівняння надалі буде використовуватись для перевірки відповідності параметрів верстатного зачеплення області його існування.

Встановимо спочатку параметри верстатного зачеплення і їх величини, які прийемо за фактори, що визначають правильність верстатного зачеплення. Відомо, що одним з найбільш впливових на процес обкатної обробки і профілювання поверхні зубів оброблюваного колеса є початкова поверхня, її форма і розміри. У гвинтовому евольвентному зачепленні, яким є верстатне зачеплення при шевінгуванні, початковими поверхнями є циліндри, які вписані в горлові перерізи аксоїдів (однопорожнинних гіперболоїдів) колеса і шевера. Якщо врахувати, що геометрія гвинтової евольвентної передачі цілком визначається розміром початкових поверхонь; що при шевінгуванні розміри початкових поверхонь не виходять за межі ланок зачеплення; що початкові поверхні у двох коліс з'являються тільки при утворенні ними кінематичної пари, а також те, що евольвентне зачеплення дозволяє для заданої пари коліс достатньо великі зміни міжосьової відстані без порушення спряженості зачеплення, то за початкову можна прийняти циліндричну поверхню, яка проходить в межах робочої висоти зуба колеса.

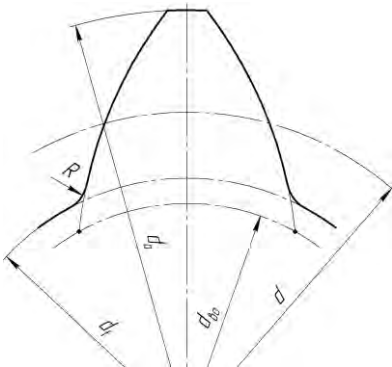


Рисунок 1 – Незмінні діаметри колеса

Виходячи з цього, діаметр початкового циліндра колеса визначемо як (рис. 1):

$$d_{wl} = \frac{d_{a1} + d_{p1}}{2},$$

де d_{wl}, d_{a1}, d_{p1} – діаметри початковий, вершин і нижніх активних точок профілю зубів колеса.

Знаючи d_{wl} можна визначити нормальний початковий кут верстатного зачеплення:

$$\operatorname{tg} \alpha_{nw01} = \operatorname{tg} \alpha_{nw1} \cdot \cos \beta_{w1}, \quad (4)$$

де $\alpha_{nw01}, \alpha_{nw1}$ – нормальний і торцевий кут верстатного зачеплення; β_{w1} – початковий кут нахилу зубів колеса.

Знаючи кут α_{nw01} і прийнявши початковий кут нахилу зуб'їв шевера $\beta_{w0} = \Sigma - \beta_{w1}$, можна визначити необхідні для подальшого розрахунку кути $\beta_0, \beta_{e0}, \alpha_{nw0}$. Особливістю розрахунку на цьому етапі є те, що параметри колеса, шевера і верстатного зачеплення є зв'язаними між собою відповідністю умовам існування зачеплення і його спряженості. Визначених на цьому етапі параметрів шевера достатньо для перевірки умов правильності обробки колеса і роботи шевера.

Умова правильної обробки колеса має вигляд:

$$\alpha_{p12} > \alpha_{p10} > 0, \quad (5)$$

де α_{p12} і α_{p10} кути нижньої активної точки профілю зуба колеса в зачепленні робочому і верстатному відповідно.

Записана в кутових величинах умова (5) не потребує додаткових розрахунків і зручніша для аналізу результатів перевірки. З урахуванням того, що умова (5) по суті є умовою відсутності інтерференції у верстатному зачепленні, то кут α_{p10} можна визначити за формулою [5]:

$$\operatorname{tg} \alpha_{p10} = \operatorname{tg} \alpha_{nw1} - \frac{z_0 \cdot \cos^2 \beta_{e1}}{z_1 \cdot \cos^2 \beta_{e0}} (\operatorname{tg} \alpha_{a0} - \operatorname{tg} \alpha_{nw0}), \quad (6)$$

де параметри з індексом «0» належать шеверу.

При виконанні умови (5) можна переходити до наступної перевірки. В разі порушення умови (5) треба змінювати (збільшувати при $\alpha_{12} < \alpha_{p10}$ і зменшувати при $\alpha_{p10} \leq 0$) діаметр d_{w1} початковий і повторювати розрахунки до виконання умови (5).

Друга перевірка на цьому етапі пов'язана з визначенням радіального зазору у верстатному зачепленні в западині колеса. Ця перевірка виконується так, як і це неведено у відомих методиках розрахунку шевера.

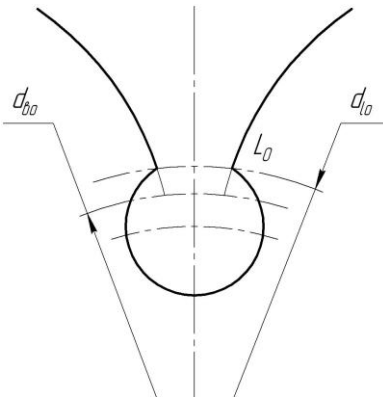


Рисунок 2 – Западини зуба шевера

Параметри сточеного шевера обмежуються положенням граничної точки L (рис. 2) профілю шевера. Така умова приміняється із-за того, що поверхня дна западини шевера не існує, то точка перетину лінії профілю з окружністю отвору для виходу стружкової канавки є точкою L , так як вона оброблюється боковою стороною шліфувального круга. Виходячи з того, що точка L не повинна належати основній окружності шевера, діаметр граничних точок приймається:

$$d_{юс} = d_{d0} + 2a, \quad (7)$$

де $a = 2 \dots 4$ мм в залежності від модуля шевера.

Прийнявши діаметр вершин зубів сточеного шевера $d_{a0c} = d_{i0c} + 4m_n h_a^*$, можна початковий діаметр сточеного шевера прийняти $d_{w01} = 0,5(d_{a0c} + d_{i0c})$, торцевий початковий кут профілю $\cos \alpha_{i0c} = d_{e0} / d_{w01c}$, і кут профілю в точці L $\cos \alpha_{i0c} = d_{e0} / d_{i0c}$. За цими даними визначається:

$$\operatorname{tg} \alpha_{p01} = \operatorname{tg} \alpha_{w0} - \frac{z_1 \cdot \cos^2 \beta_{e0}}{z_0 \cdot \cos^2 \beta_{e1}} (\operatorname{tg} \alpha_{a1} - \operatorname{tg} \alpha_{t1}), \quad (8)$$

де α_{p01} – кут профілю шевера в нижній активній точці.

Повинно $\alpha_{p12} > \alpha_{p10}$. Якщо умова не виконується, то, змінюючи d_{i0c} , підбирають величину його так, щоб умова виконувалась.

Решат параметрів шевера, необхідні при його виготовленні, контролі та експлуатації, визначаються за відомими правилами і нормами.

Таким чином з наведеного витікають такі висновки:

1. Запропонований спосіб визначення параметрів нового і сточеного шевера через визначення початкового діаметра колеса і шевера у верстатних зачепленнях дозволяє врахувати вплив параметрів верстатного зачеплення на точність обробки.

2. Зменшується обсяг обчислення завдяки використанню за критерії існування верстатного зачеплення кута профілю у відповідних точках профілю, зуба колеса і шевера.

3. При перевірках правильності розрахунків спрощується визначення напрямку зміни впливових параметрів.

Список використаних джерел: 1. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес. – Львов: Вища школа, 1977. – 168с. 2. Калашников С.Н. Шевингование зубчатых колес / С.Н.Калашников, А.С. Калашников. – М.: Высшая школа, 1985. – 272с. 3. Петрухин С.С. Классификация видов шевингования в области технологии машиностроения / С.С. Петрухин, Н.Т.Ананьев // Прогрессивная технология машиностроения. – Тула: ТулПИ, 1970. – Вып. IV. – С.71–77. 4. Надеин В.С. Механизм возникновения и развития погрешности зубчатого венца при шевинговании / В.С. Надеин, Хамдан Мухаммед // Проблемы автоматизации и энергообеспечения в машиностроении. Сб. статей. – Кировоград, 1995. – С.61–66. 5. Хамдан Мухаммед. Определение погрешности зубчатого венца по проходам при шевинговании // Проблемы разработки, производства та експлуатації сільськогосподарської техніки. Зб. наук. пр. – Кировоград, 1995. – С.97–100. Б.И. Шендрей. – М.: Машиностроение, 1981. – 104с.

Надійшла в редакцію 11.06.2012