

УДК 515.2

Н.П. Ісмаїлова¹, Г.В. Трушков¹, Н.В. Олійник²Військова академія (м. Одеса)¹Одеська державна академія будівництва та архітектури²

МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ, ЗА ДОПОМОГОЮ КВАЗІГВИНТОВОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТУ, ЩО ВИКЛЮЧАЄ ІНТЕРФЕРЕНЦІЮ

Робота присвячена моделюванню спряжених поверхонь за допомогою квазігвинтової поверхні контакту зачеплення інструменту і деталі, стосовно різучого інструменту, що оброблює евольвенту поверхню, де явище інтерференції виключено. Моделювання спряженої квазігвинтової поверхні контакту зачеплення при проектуванні зубчастих передач, дозволяє визначити графоаналітичну модель стосовно зубчастих зачеплень в машинобудуванні.

Ключові слова: квазігвинтова поверхня контакту, інтерференція, зубчасті передачі, спряженні гвинтові поверхні, квазігвинтова поверхня зачеплення.

Н.П. Исмаилова, Г.В. Трушков, Н.В. Олейник

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, С ПОМОЩЬЮ КВАЗИВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА, ИСКЛЮЧАЮЩАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЮ

Работа посвящена моделированию сопряженных поверхностей, с помощью квазивинтовой поверхности контакта зацепления инструмента и детали, относительно режущего инструмента обрабатываемого эвольвенту поверхности, где явление интерференции исключено. Моделирование сопряженной квазивинтовой поверхности контакта зацепления при проектировании зубчатых передач, позволяет определить графоаналитическую модель зубчатых зацеплений в машиностроении.

Ключевые слова: квазивинтовая поверхность контакта, интерференция, зубчатые передачи, сопряженные винтовые поверхности, квазивинтовая поверхность зацепления.

N. Ismailova, G. Trushkov, N. Oliinyk

SIMULATION OF CONJUGATE SURFACES BY A QUASI-VISTA SURFACE OF CONTACT, EXCLUDING INTERFERENCE

The work is devoted to modeling of conjugate surfaces, using the quasi-screw contact surface of the tool and part engagement, relative to the cutting tool of the involute-treating surface, where the phenomenon of interference is excluded. Modeling of the conjugate quasi-screw surface of the engagement contact in the design of gears, allows to determine the graphoanalytical model of gearing in engineering.

Key words: quasi-screw contact surface, interference, gears, conjugate screw surfaces, quasi-screw engaging surface.

Визначення проблеми. Квазігвинтові поверхні контакту зачеплення в зубчастих передачах, без інтерференції, дозволяє уникнути підрізання, заклинювання, небезпечних концентрацій напруги і підвищує точність, продуктивність і надійність широкого класу деталей в машинобудуванні.

Аналіз досягнень і публікацій. При проектуванні спряжених поверхонь, певні завдання вирішувалися за допомогою методів криволінійного проектування. Дані питання досліджувалися в роботах А.М. Тевліна, А.М. Подкоритова і їх учнів. Як апарат проектування, при вирішенні різних завдань профілювання, застосовувалися конгруенції кола, гвинтових ліній, спіральні - гвинтових ліній.

Формування цілій статті. З метою здобуття точності виробів зубчастого зачеплення в машинобудуванні є моделювання спряженої квазігвинтової поверхні контакту зачеплення з точковим контактом, що виключає інтерференцію.

Вимога відсутності інтерференції, є необхідною умовою для профілювання зубчастих коліс, оскільки мова йдеться не про математичні об'єкти, а про реальні тіла, обмежені спряженнями поверхнями.

Було встановлено що, явище інтерференції настає тоді, коли будь-яка частина простору виявляється такою, що знаходиться усередині об'ємів двох тіл одночасно. Стосовно зубчастого зачеплення це є заклинювання.

Суть методу моделювання квазігвинтової поверхні контакту зачеплення зубчастих передач, що огинають циклічні аксоїди для найбільш загального випадку, полягає в тому, що як поверхня твірної Σ_A , що огинає так і поверхня Σ_B , яку огинають є спряженими узагальненими поверхнями з різними гвинтовими параметрами.

Розглянутий рух поверхонь Σ_A і Σ_B відносно миттєвої спряженої квазігвинтової поверхні контакту Φ (рис. 1).

Визначені з цією метою осі $O'_1Z'_1$ і $O'_2Z'_2$ миттєвих гвинтових рухів поверхонь Σ_A і Σ_B відносно квазігвинтової спряженої контактної поверхні Φ . Позначимо через a'_1 і a'_2 відстані і через a'_1 і a'_2 - кути між осями O_1Z_1 і $O'_1Z'_1$ і O_2Z_2 і $O'_2Z'_2$, а через ω'_1 і ω'_2 і через h'_1 і h'_2 - кутові швидкості і параметри миттєвих гвинтових рухів поверхонь Σ_A і Σ_B відносно спряженої квазігвинтової контактної поверхні Φ .

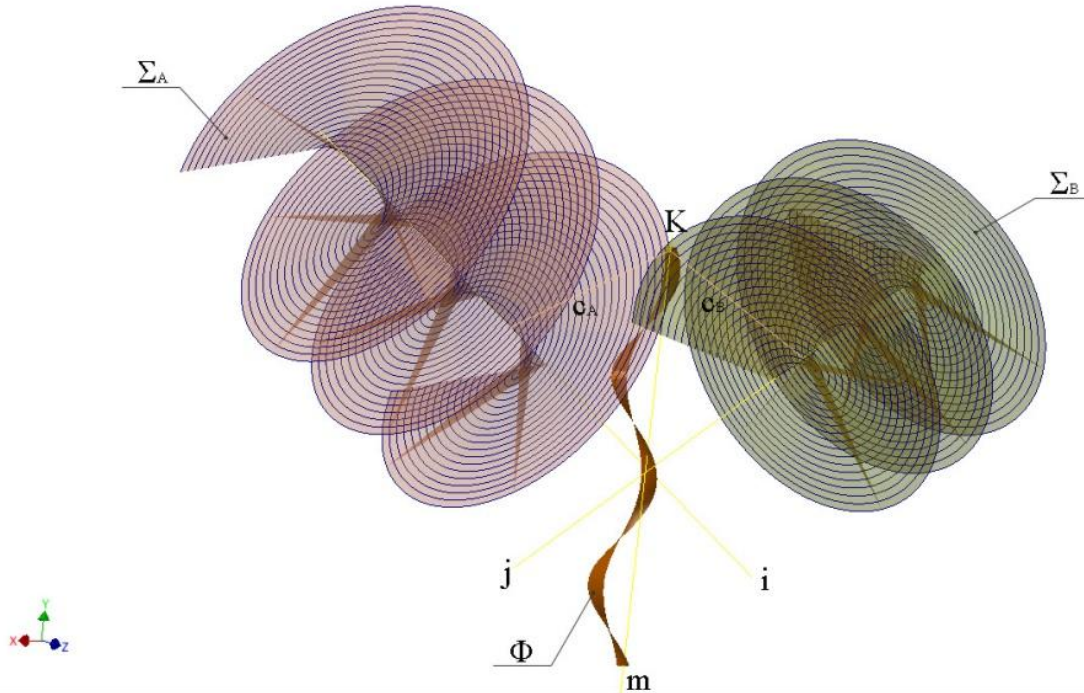


Рис.1. Геометрична модель квазігвинтової поверхні.

Для цього потрібно скласти абсолютний гвинтовий рух поверхонь Σ_A і Σ_B і рух, протилежний до абсолютного обертального руху спряженої квазігвинтової поверхні Φ . Відповідні величини можуть бути визначені з наступних співвідношень:

$$\omega'_v = \sqrt{\omega^2 + \omega_v^2 - 2\omega\omega_v \cos a_v} ;$$

$$\cos a'_v = \frac{\omega - \omega \cdot \cos a_v}{\omega'_v}$$

а величини a'_v і h'_v - системи лінійних рівнянь:

$$\operatorname{tg}(a'_v - a_v) = \frac{h + h'_v}{a'_v - a_v}$$

$$\operatorname{tg}(a'_v - 2a_v) = \frac{h'_v}{a'_1}$$

індекс v тут і далі набуває значення 1 і 2.

Характеристикою поверхні Φ при її русі відносно руху спряжених гвинтових поверхонь Σ_A і Σ_B , є геометричне місце тих точок на поверхні Φ , швидкості рухів яких відносно спряжених гвинтових поверхонь Σ_A і Σ_B , які належать площині, дотичній до квазігвинтової поверхні контакту Φ . Знайдений вектор відносної швидкості точок квазігвинтової поверхні контакту Φ з координатами, u, v у момент часу t .

Для цього визначений вектор відстань від точки O'_y до точки поверхні Φ з координатами u, v у момент часу t .

$$\bar{W}_v(t, u, v) = x_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{i} + y_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{j} + z_{w_v}(t, u, v) \cdot \bar{k}$$

$$\bar{d}_v(t, u, v) = x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{i} + y_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{j} + z_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{k}$$

Очевидно,

$$\bar{d}_v(t, u, v) = (-1)^v \cdot (a_v - a'_v) \cdot \bar{i} + \bar{c}(t, u, v);$$

Тобто

$$x_{d_v}(t, u, v) = (-1)^v \cdot (a_v - a'_v) \cdot \bar{i} + x_c(t, u, v)$$

$$y_{d_v}(t, u, v) = y_c(t, u, v)$$

$$z_{d_v}(t, u, v) = y_c(t, u, v)$$

використовуючи вектор $\bar{d}_v(t, u, v)$, знаходимо

$$\bar{W}_v(t, u, v) = [\bar{d}_v(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v] + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v$$

очевидно,

$$\bar{\omega}'_v = \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v) \cdot \bar{j} + \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a_v - a'_v) \cdot \bar{k},$$

звідки:

$$x_{w_v}(t, u, v) = y_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v) - z_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v);$$

$$y_{w_v}(t, u, v) = -x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v) + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a'_v - a_v);$$

$$z_{w_v}(t, u, v) = x_{d_v}(t, u, v) \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \sin(a_v - a'_v) + h'_v \cdot \bar{\omega}'_v \cdot \cos(a'_v - a_v).$$

$$\bar{W}_v(t, u, v)$$

Тоді умова того, що вектор швидкості $\bar{W}_v(t, u, v)$ знаходиться в дотичній до квазігвинтової поверхні контакту Φ , може бути записано у вигляді:

$$\bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_v(t, u, v) = 0$$

або

$$x_n(t, u, v) \cdot x_{w_v}(t, u, v) + y_n(t, u, v) \cdot y_{w_v}(t, u, v) + z_n(t, u, v) \cdot z_{w_v}(t, u, v) = 0$$

З цього рівняння визначаємо, наприклад, параметр v як функцію параметрів u і v , тобто:

$$V = V_v(u, v)$$

Яка виділяє на квазігвинтової поверхні контакту Φ геометричну безліч точок, що належать у момент часу t характеристиці.

Для знаходження радіусу вектору точок характеристики у момент часу t :

$$\bar{e}_v(t, u) = x_{e_v}(t, u) \cdot \bar{i} + y_{e_v}(t, u) \cdot \bar{j} + z_{e_v}(t, u) \cdot \bar{k},$$

підставимо знайдену вище функцію у формулу радіусу-вектору $\bar{c}(t, u, v)$ точок спряжених

поверхонь $\sum_A \equiv \sum_B$.

$$\bar{e}_v(t, u) = \bar{c}(t, u, V_v(u, t)).$$

або

$$x_{e_v}(t, u) = x_c(t, u, V_v(u, t)),$$

$$y_{e_v}(t, u) = y_c(t, u, V_v(u, t)),$$

$$z_{e_v}(t, u) = z_c(t, u, V_v(u, t)).$$

Відзначимо, що знайдене сімейство характеристик є одночасно вираженням для радіусу-вектору квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, що розшукується в системі координат O_{xyz} .

Щоб знайти радіуси - вектори точок квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, що обмежують тіла двох спряжених гвинтових поверхонь використовуємо рівняння:

$$\begin{cases} \bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_1(t, u, v) = 0 \\ \bar{n}(t, u, v) \cdot \bar{W}_1(t, u, v) = 0 \end{cases}$$

Ця система визначає u і v як функції часу t :

$$u = u(t), \quad v = v(t)$$

Підставляючи у вираження для радіусу-вектору $\bar{c}(t, u, v)$ точок квазігвинтової поверхні контакту, знайдемо вираження для радіусу-вектору:

$$\bar{f}(t) = x_f(t) \cdot \bar{i} + y_f(t) \cdot \bar{j} + z_f(t) \cdot \bar{k},$$

точок зачеплення квазігвинтової поверхні контакту:

$$\bar{f}(t) = \bar{c}(t, u, v(t))$$

або

$$\bar{f}(t) = x_c(t, u, v(t));$$

$$y_f(t, u) = y_c(t, u, v(t));$$

$$z_f(t, u) = z_c(t, u, v(t)).$$

Для знаходження радіусу-вектору точок квазігвинтової поверхні контакту обертання, які розшукуються в системі координат $O_v X_v Y_v Z_v$, жорстко зв'язаної з тілом обертання, перейдемо спочатку від системи координат O_{xyz} до системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$, яка повернута навколо вісі $O_x = O_v \cdot X_v$ на кут a_v та перенесена вдовж неї на відстань $(-1)^{v+1} a_v$.

$$\text{Вважаючи } \bar{e}_v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{i} + y_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{j} + z_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{k}_v$$

знаходимо:

$$x_{ev}^v(t, u) = x_{ev}(t, u) + (-1)^v a_v;$$

$$y_{ev}^v(t, u) = y_{ev}(t, u) \cdot \cos a_v + z_{ev}(t, u) \cdot \sin a_v;$$

$$z_{ev}^v(t, u) = -y_{ev}(t, u) \cdot \sin a_v + z_{ev}(t, u) \cdot \cos a_v$$

Залишається перейти від системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$ до рухливої системи координат $O_v X_v Y_v Z_v$, жорстко пов'язаної з тілом і поверненої довкола осі $O_v Z_v = O_v Z_v$ на кут $\varphi_v(t) = \omega_v t$.

$$\text{Вважаючи } \bar{e}_v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{i} + y_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{j} + z_{ev}^v(t, u) \cdot \bar{k}_v$$

$$\text{знаходимо: } x_{ev}^v(t, u) = x_{ev}^v(t, u) \cdot \cos \varphi_v(t) + y_{ev}^v(t, u) \sin \varphi_v(t);$$

$$y_{ev}^v(t, u) = -x_{ev}^v(t, u) \cdot \sin \varphi_v(t) + y_{ev}^v(t, u) \cos \varphi_v(t);$$

$$z_{ev}^v(t, u) = z_{ev}^v(t, u)$$

Останні формули вирішують поставлену задачу: вони в координатній формі задають спряжену квазігвинтову контактну поверхню зачеплення S_v , що обмежує її тіло.

Визначення спряженої квазігвинтової контактної поверхні зачеплення визначає інтерференцію зубчастих передач, яка дозволяє отримувати аналітичну модель по сучасним технологіях для виготовлення зубчастих зачеплень, що виключають інтерференцію. Моделювання квазігвинтової контактної поверхні зачеплення, дозволяє уникнути підрізування, заклинювання і небезпечної концентрації напруги, а також підвищується точність і надійність, при виготовлення деталей в машинобудуванні.

Квазігвинтова поверхня контакту зачеплення дає можливість отримувати пари спряжених гвинтових поверхонь, на стадії проектування яких буде відсутнє явище інтерференції.

Висновок. З метою підвищення точності і надійності широкого класу виробів космічних кораблів, авіації, озброєння, військової техніки та машинобудування розроблено конструювання спряжених гвинтових поверхонь за допомогою визначення квазігвинтової поверхні контакту зачеплення, яка дає можливість отримувати пари зубчастого зачеплення, їх оптимальну форму і розміри з точки зору надійності і точності профілізації і підвищення продуктивності конструкторських робіт.

Подальші дослідження проводитимуться у напрямі розповсюдження використання побудови спряженої квазігвинтової контактної поверхні зачеплення на базі параметричного кінематичного гвинта, а також для сприяння вирішення проблеми виключення інтерференції при профілізації деталей в машинобудуванні.

Список використаних джерел:

1. Подкорытов А.Н. Определение интерференции и профилирование сопряженных винтовых нелинейчатых поверхностей сложным криволинейным профилем применительно к червячным фрезам. Прикладная геометрия и инженерная графика. Омск, 1972.
2. А.М. Подкоритов, Ісмаїлова Н.П. Основи формування поверхонь //Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 7, т.38. – Мелітополь: ТДАТА, 2008. – С.16-20.
3. А.Н.Подкорытов. Исключение интерференции сопряженных поверхностей зубчатых передач. INTERNATIONAL CONGRES–GEAR TRANSMISSIONAL, Sofia–BULGARIA, 1995,с.143–145.
4. Ісмаїлова Н.П. Спряжені поверхні із точковим контактом // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці. - Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 4 т.35. – Мелітополь, 2007. – С.156-159.
5. Ісмаїлова Н.П. Комплексний спосіб формування спряжених нелінійчатих поверхонь / Н.П. Ісмаїлова// Збірник наукових праць. Вісник КНУБА, – Київ, 2009. – С. 220-224.
6. Подкоритов А. М., Ісмаїлова Н. П. Теоретичні основи спряжених квазігвинтових поверхонь, що виключають інтерференцію [Текст]: монографія //Херсон : ФОПГрінь Д. С., 2016. – 330 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2018