

УДК 004.942

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ САД-МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХОНЬ У СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМАХ

Холодняк Ю.В., к.т.н.

e-mail: yuliya.kholodnyak@tsatu.edu.ua

Гавриленко Є.А., д.т.н.

e-mail: yevhen.havrylenko@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Актуальність та постановка проблеми. Вироби, обмежені поверхнями складної форми, обробляються на верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК). Технологія виготовлення на верстатах із ЧПК дозволяє обробляти поверхні будь-якої форми. Керуюча програма для верстата з ЧПК створюється в автоматизованому режимі у САМ-системі. Вихідними даними для САМ-системи є тривимірна модель виробу, що формується у САД-системі (SolidWorks, AutoCAD, NX CAD та інші) [1].

Точність обробки визначається точністю формування тривимірної моделі, точністю визначення траєкторії різального інструменту САМ-системою та точністю, з якою верстат виконує запрограмовані операції [2].

Коректне формування тривимірної моделі – необхідна умова якісного виготовлення виробу. Технологія моделювання у САД-системі передбачає формування поверхонь на основі лінійних каркасів [3-4]. Геометричні характеристики кривих ліній – елементів каркасу визначають функціональні властивості поверхонь, що моделюються. Необхідні властивості багатьох поверхонь забезпечуються застосуванням як елементи каркасу певних кривих ліній. Це можуть бути евольвенти, трохоїди, криві, які не мають аналітичного представлення і формуються з урахуванням алгоритму.

Існуючі САД-системи використовують обмежений набір кривих ліній. Більшість САД-систем це пряма лінія, криві другого порядку, В-сплайн. При використанні ліній, які САД-система не формує, лінії замінюються складовою кривою. Ділянки складової кривої формуються кривими із бібліотеки САД-системи. Головна умова формування складових кривих у САД-системі – забезпечення необхідної точності представлення вихідних елементів каркасу. Кошти, які дозволяють контролювати виконання зазначеної умови, у сучасних САД-системах відсутні.

Метою дослідження є розробка методики формування комп'ютерних моделей складних поверхонь на основі каркасу, що складається з кривих ліній, які відсутні у бібліотеках САД-систем.

Розробка автоматизованих технологій моделювання складних функціональних поверхонь на основі кривих ліній, які не містяться у бібліотеках САД-систем – актуальне завдання геометричного моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити алгоритми формування обводів із заданою точністю, що представляють криві лінії, задані аналітично або конструктивно, які є лінійними елементами визначника поверхні;
- розробити програмне забезпечення для автоматизованого формування в САД-системі каркасів, що складаються з обводів, що становлять лінійні елементи визначника поверхні;

– випробувати розроблену методику для формування функціональних поверхонь планетарно-роторного компресора.

Основні матеріали дослідження. Алгоритм, що дозволяє визначити область можливого розташування кривої лінії, заснований на контролі виникнення осциляції (зміна опуклості-увігнутості) на її ділянках [5-7]. Для опуклої кривої, в кожній точці якої існує єдине положення дотичної, будь-яка ділянка розташовується всередині трикутника, який будемо називати базисним. Базовий трикутник (БТ) обмежений хордою, що з'єднують точки, які належать кривій, та дотичними до кривої в цих точках.

Будь-який обвід, що інтерполіює точковий ряд, призначений на опуклій кривій, на ділянках якого не відбувається зміни опуклості-увігнутості, розташовується всередині послідовності БТ з вершинами в вузлових точках обводу. Висоту БТ найбільшої довжини можна вважати максимальною абсолютною похибкою інтерполяції.

У разі коли вихідні точки обводу визначені на невідомій кривій, дотичні до обводу визначаються виходячи з її передбачуваних властивостей. Цією властивістю є напрям зростання радіусів кривини вздовж кривої. Напрямок зростання радіусів кривини визначається на основі прилеглих кіл, що проходять через три послідовні точки ряду. Напрямок зростання вздовж кривої радіусів прилеглих кіл і радіусів кривини збігаються. Дотична до обводу визначається як середнє положення дотичних до двох прилеглих кіл, що проходять через дану точку.

На основі вказаного алгоритму розроблено технологію автоматизованого формування ліній у CAD-системі SolidWorks. На першому етапі визначаються координати точок, що належать опуклій ділянці кривої, що моделюється, і послідовність БТ, сформованих на їх основі. Умова формування точкового ряду – максимальна висота БТ не перевищує допустиму абсолютну похибку формування лінії у CAD-системі.

Для розрахунків координат вузлів обводу використовується середовище Maple. Координати отриманих точок автоматично записуються в текстові файли.

На другому етапі виконується формування лінії у SolidWorks. Розроблено програму, яка за допомогою інструменту API (Application Program Interface) програма інтегрована з CAD-системою – SolidWorks. Вихідними даними для програми є текстові файли з координатами точок, які розраховані в Maple. Програма автоматично створює B-сплайн, який інтерполіює вихідний точковий ряд. На основі отриманої кривої за допомогою стандартних функцій SolidWorks будується комп'ютерна модель поверхні.

Розроблена технологія використана для моделювання функціональних поверхонь планетарно-роторного компресора.

Схема роботи компресора показано на рис. 1. Компресор складається з корпусу (1) та ротора (2). При обкатуванні шестерені (3), яка з'єднана з ротором, нерухомої шестерні (4), яка з'єднана з корпусом, ротор здійснює планетарне обертання всередині корпусу. Вершини ротора знаходяться у постійному контакті із внутрішньою поверхнею корпусу. Поверхні ротора та корпусу обмежують три робочі камери компресора. При обертанні ротора об'єм робочих камер постійно змінюється. На рис. 1 показано положення ротора, при якому об'єм робочої камери, обмежений стороною А, максимальний (рис. 1, а) і мінімальний (рис. 1, б).

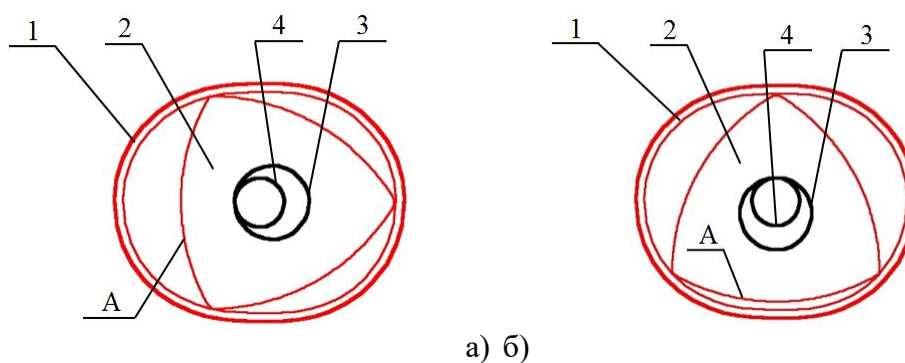


Рис. 1. Положення робочих органів планетарно-роторного компресора:
а – при максимальному об'ємі робочої камери; б – при мінімальному об'ємі
робочої камери

Робоча поверхня корпусу являє собою циліндричну поверхню, яку визначає епітрохіда – крива, отримана рухом вершини ротора (точка A), жорстко зв'язаною відстанню d і кутом φ з колом радіуса R . Це коло котиться без ковзання по зафіксованому колу радіуса r (рис. 2, а). Співвідношення між радіусом рухомого (R) і нерухомого (r) кіл становить $3/2$.

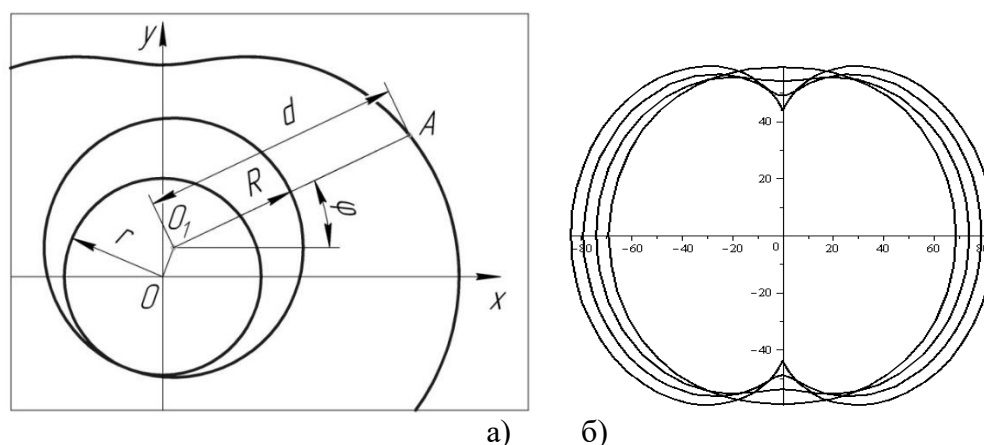


Рис. 2. Формування профілю корпусу компресора: а – схема утворення
епітрохіди R ; б – сімейство епітрохід для різних значень R при $R/r=3/2$.

Поперечний перетин ротора – криволінійний трикутник Релло, сторони якого утворюються дугами кіл. Розміри ротора визначаються відстанню між центром і вершиною трикутника.

При незмінній відстані d збільшення радіусів кіл призводить до того, що форма корпусу стає більш витягнутою і найвужча частина корпусу зменшується (рис. 2, б). В результаті збільшується амплітуда коливань ротора та різниця між максимальним та мінімальним обсягами робочих камер. Продуктивність компресора збільшується. При збільшенні радіусів кіл настає момент, коли профілі корпусу і ротора перетинаються (ротор заклинює в корпусі). Для ротора з перетином у вигляді трикутника Релло, який визначається розміром $d=60$ мм, максимальний з можливих радіус кола рухомої шестерні $R=23,4$ мм.

Для подальшого збільшення об'єму робочих камер знадобилася оптимізація профілю ротора. Сторона оптимізованого профілю ротора сформована В-сплайном, який інтерполює точковий ряд, координати вузлів якого визначені

конструктивно. Положення вихідних точок визначається складовою кривою, ділянки якої формуються в такий спосіб. Положення вихідного профілю ротора фіксується. Контур корпусу жорстко зв'язується з колом радіусу r . Це коло обкатує зафіксоване коло радіуса R , і профіль корпусу здійснює планетарний рух. При цьому русі визначається частина ротора, що потрапляє в межі різних положень контуру корпусу (рис. 3). Оптимізація форми ротора полягає у видаленні зазначеної частини.

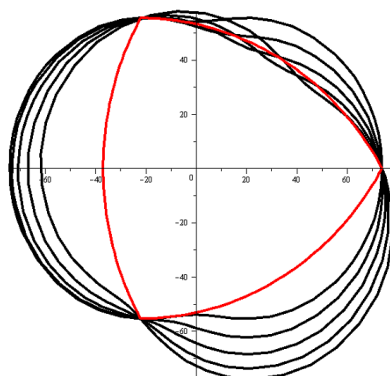


Рис 3. Переміщення епітрохіди щодо профілю ротора

Для формування вихідного точкового ряду визначається послідовність положень контуру ротора. Число цих положень дорівнює кількості вихідних вузлів. Формується складова крива, кожна ділянка якої належить епітрохіді в одному з її положень. Ділянки обмежені точками перетину послідовних положень епітрохід. У середині кожної ділянки призначається вихідна точка. З отриманого точкового ряду формується В-сплайн, який визначає оптимізований контур ротора.

Оптимізовані профілі корпусу та ротора сформовані для радіуса рухомого кола $R=30$ мм (діаметр рухомої шестерні планетарно-роторного механізму) та відстані $d=60$ мм (відстань від центру ваги перерізу ротора до його вершини).

Профіль сторони ротора сформований на основі 32 вузлів, координати яких розраховані за запропонованою методикою. Максимальна абсолютна похибка інтерполяції склала $3,16 \cdot 10^{-4}$ мм.

Вибрані параметри планетарно-роторної машини визначили профіль корпусу у вигляді епітрохіди, яка визначається рівняннями:

$$\begin{cases} x = 10 \cos \varphi + 60 \cdot \cos \frac{\varphi}{3}, \\ y = 10 \sin \varphi + 60 \cdot \sin \frac{\varphi}{3}. \end{cases} \quad (1)$$

На отриманій кривій розраховано положення вузлів вихідного точкового ряду, на підставі якого сформований В-сплайн – лінійний елемент для формування моделі поверхні SolidWorks. Максимальна абсолютна похибка інтерполяції склала $2,94 \cdot 10^{-4}$ мм.

Вихідні точкові ряди, на основі яких моделюються контури ротора та корпусу, сформовані, виходячи з вимог необхідної точності інтерполяції. Ця точність має перевищувати точність, з якою верстат із ЧПК забезпечує обробку запрограмованих траєкторій. Для особливо точних верстатів (класу 3) ця точність становить $1,6 \cdot 10^{-3}$ мм.

Тривимірний модель виробу, створена в CAD – системі (SolidWorks), імпортується у САМ – систему (PowerMill) Імпорт моделі здійснюється за допомогою прямих трансляторів або через нейтральні формати iges, x_b, step, sat та інші, які передають дані про поверхні, що обмежують виріб. Керуюча програма для обробки виробу на верстаті з ЧПК створюється за допомогою стандартних функцій САМ – системи.

Висновки. В роботі запропоновано методику формування комп'ютерних моделей складних поверхонь на основі каркасу, що складається з кривих ліній, які відсутні в бібліотеках САД-систем.

В результаті досліджень отримано такі результати.

1. Розроблено алгоритми формування обводів, які із заданою точністю представляють криві лінії, задані аналітично або конструктивно. Сформовані обводи використовуються в САД-системі як лінійні елементи моделі поверхонь.

2. Розроблено програмне забезпечення для автоматизованого формування в САД-системі обводів, що представляють криві лінії з визначника поверхні. Обводи використовуються для створення лінійних каркасів, на основі яких за допомогою функцій системи САД формується модель поверхні.

3. Розроблена методика випробування під час моделювання функціональних поверхонь планетарно-роторного компресора. Виконана оптимізація форми профілів корпусу та ротора компресора з метою збільшення його продуктивності. Моделі поверхонь отримані виходячи з передаточного числа зубчастого зачеплення 3/2 відстані від центру поперечного перетину ротора до його вершини $d=60$ мм. Радіус кола рухомої шестерні збільшений з $R=23,4$ мм у вихідній моделі до $R=30$ мм. Показники порівнювалися з характеристиками традиційної моделі планетарно-роторного компресора, у якій ротор виконано у вигляді трикутника Релло. У вихідній конструкції різниця між максимальним та мінімальним обсягами робочої камери становить $302,6 \text{ см}^3$, а після оптимізації різниця обсягів збільшилася до $345,4 \text{ см}^3$.

Список використаних джерел:

1. Light R., Gossard D. Modification of geometric models through variational geometry. *Computer Aided Design*. 1982. Vol. 14, No 4. P. 209–214.

2. Czerech L., Kaczynski R., Werner A. Machining Error Compensation for Objects Bounded by Curvilinear Surfaces. *Acta Mechanica et Automatica*. 2012. Vol. 6. P. 26–30.

3. Chekalin A.A., Reshetnikov M.K., Shpilev V.V., Borodulina S.V. Design of Engineering Surfaces Using Quartic Parabolas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 221. UNSP 012015.

4. Zhang Y., Ye P., Wu J., Zhang H. An optimal curvature-smooth transition algorithm with axis jerk limitations along linear segments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 95. P. 875–888.

5. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Vershkov O., Naidysh A. Development of the method for the formation of one-dimensional contours by the assigned interpolation accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*. 2018. Vol. 1. No 4(91). P. 76–82.

6. Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В., Антонова Г.В., Михайленко Е.Ю. Моделювання ділянок одновимірних обводів за заданими умовами. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К.: КНУБА, 2021. Вип. 101. С. 34–44.

7. Kholodniak Yu., Havrylenko Ye., Ivzhenko O., Pykhtieieva I. *Modeling surfaces according to specified conditions based on array of points*. Modern modeling problems. Melitopol: MSPU, 2021. Vol. 24. P. 175–182.