

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.6

УДК 621.9.06

Коротков В.С., к.т.н., доцент, ORCID: 0009-0005-5644-5521, e-mail: kvs55dn@gmail.com
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Korotkov Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine-Building Technologies and Engineering
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАЛООБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ

Представлено варіант технологічної підготовки обробки різанням деталі складної гладкої просторової форми на токарному верстаті з ЧПК. За геометричними даними, заданими таблицею координатних точок, будується сплайн, який описує утворюючу поверхню деталі. В полі заданого допуску будується ламана з мінімальною кількістю ланцюгів, яка є похідною геометричною інформацією для розрахунку траєкторії руху формуючого інструменту на верстаті з ЧПК. Пропонується варіанти запису траєкторій руху інструменту на попередніх технологічних переходах.

Ключові слова: верстат з ЧПК; контур деталі; траєкторія руху інструменту; припуск на обробку; керуюча програма.

A variant of the technological preparation for processing by cutting a part of a complex smooth spatial shape on a CNC lathe is presented. Based on the geometric data given by the table of coordinate points, a spline is built that describes the forming surface of the part. In the field of the specified tolerance, a broken line with the minimum number of chains is built, which is derived geometric information for calculating the trajectory of the movement of the forming tool on the CNC machine. Options for recording tool movement trajectories at previous technological transitions are offered.

Keyword: CNC machine tool; outline of the part; tool movement trajectory; processing allowance; control program.

Постановка проблеми

Сучасною тенденцією при створенні ефективних машин є використання деталей складної просторової форми. Наприклад, деталі з аеродинамічними чи гідродинамічними властивостями мають гладкі поверхні змінної кривизни і широко використовуються в авіаційній і ракетно-космічній галузях, суднобудуванні, виготовленні турбін, лопатів вітряних генераторів і т. ін. На стадії конструювання таких деталей, як правило, використовуються сучасні інформаційні та комп'ютерні технології, виконуються складні розрахунки з використанням специфічних математичних методів і моделей. Для досягнення бажаного якісного результату на цій стадії розглядаються і порівнюються можливі варіанти конструкторських рішень, моделюються експлуатаційні характеристики виробу, і обираються по певному критерію кращі. Представлення на кресленнях таких поверхонь, у порівнянні з деталями звичайної форми, вимагає використання складних для візуального уявлення методів, наприклад, опис поверхонь набором координатних точок.

Виготовлення таких деталей, наприклад обробкою різанням, вимірюванні геометричних розмірів і контролю відповідності отриманих параметрів заданим при конструюванні, створює багато проблем, від вирішення яких залежать експлуатаційні характеристики виробу, його надійність у роботі та собівартість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В техніці найбільш розповсюдженими вважаються три основних варіанта запису складних поверхонь [1]: аналітичний, кінематичний і спосіб задання поверхонь каркасом. В залежно-

сті від умов використання кожен з них має свої переваги і недоліки. Тому на практиці часто роблять спроби застосовувати комбіновані підходи для запису геометричних даних.

Широке розповсюдження сучасної комп'ютерної техніки створює можливість вирішення поставлених задач на більш якісному рівні шляхом зменшення витрат на обчислювальні операції, моделювання поверхонь і процесів, спрощує впровадження кращих рішень у виробництво.

Значний досвід роботи з поверхнями складної форми на протязі багатьох років отриманий, наприклад, при використанні технологій на базі плазових робіт [2, 3, 4].

Впровадження плазових методів виробництва у суднобудуванні чи авіабудуванні дає певний позитивний результат, в особливості при виготовленні виробів з поверхнями складної форми. На таких виробництвах деталі виготовляють на основі складальних креслень, шаблонів, макетів, рейок, ескізів і креслень, які знімають з плаза. При використанні плазових методів часто користуються теоретичними кресленнями з таблицями координат для плаза. Плазові методи також використовуються у випадках, коли в робочих кресленнях неможливо чи недоцільно задавати всі розміри, необхідні для виготовлення виробу чи його окремих складових частин.

Поєднання давно існуючого досвіду з сучасними комп'ютерними технологіями створює можливість для підвищення ефективності робіт як при конструюванні так і при виготовленні виробів з поверхнями складної форми.

Формулювання мети дослідження

Широке розповсюдження металорізального обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) відкриває можливість суттєвого зменшення витрат на виготовлення складних за формою деталей. Підготовка керуючих програм обробки виконується з використанням засобів автоматизації на базі комп'ютерної техніки, що значно підвищує якість робіт при мінімальній їх собівартості, а можливість моделювання процесів на стадії підготовки виробництва зменшує вірогідність виникнення браку.

Ефективність металообробки на верстатах з ЧПК складних за формою деталей з підвищеними вимогами по точності та шорсткості поверхонь залежить від багатьох факторів: спроможності самого верстату забезпечити високу точність формоутворення поверхні деталі при різанні інструментом на заданих режимах, повноти урахування специфіки технології металообробки, а також можливості контролю точності формоутворення поверхонь на різних стадіях процесу.

Підготовка керуючої програми в умовах сучасного машинобудування, зазвичай, виконується при використанні CAD/CAM/CAE систем [5, 6, 7]. Результати конструювання на CAD використовуються в САМ системах як похідні дані для розрахунку траєкторій руху формоутворюючого різального інструменту на верстаті з ЧПК. Тому для випадків обробки складних поверхонь необхідно урахувати специфіку їх запису від етапу конструювання і до контролю точності формоутворення при виготовленні. САЕ-системи дають можливість забезпечувати комп'ютерну підтримку інженерних розрахунків, наприклад, виконувати розрахунки конструктивної міцності, аналізу теплових процесів і т. ін.

Для досягнення високої ефективності виготовлення виробів з поверхнями складної форми доцільне використання оригінальних методів і підходів для запису контурів деталей з потрібною точністю, які дають можливість отримання в кінцевому рахунку технологічної траєкторії руху інструменту при використанні верстатів з ЧПК. Варіантом рішення таких задач може бути використання сплайнів [8, 9].

Виклад основного матеріалу

Послідовність прийняття проектних рішень і їх аналіз доцільно розглядати на прикладі підготовки обробки типової (комплексної) деталі з поверхнями складної форми. Для цього розглянемо деталь типу «тіло обертання», поверхня якої не має прямих, дуг кіл чи їх комбінацій. Такі деталі, як відмічалось раніше, часто зустрічаються в аерокосмічній чи суднобудівній галузях. Частіше за все геометрична інформація в таких випадках задається набором координатних точок (рис. 1). Через точки $M_i(X_i, Z_i)$ будується сплайн $(S(x,t), (z,t))$ [10], який описує утворюючу поверхню деталі. Кількість точок і точність їх координат визначають точність геометричного опису поверхні деталі.

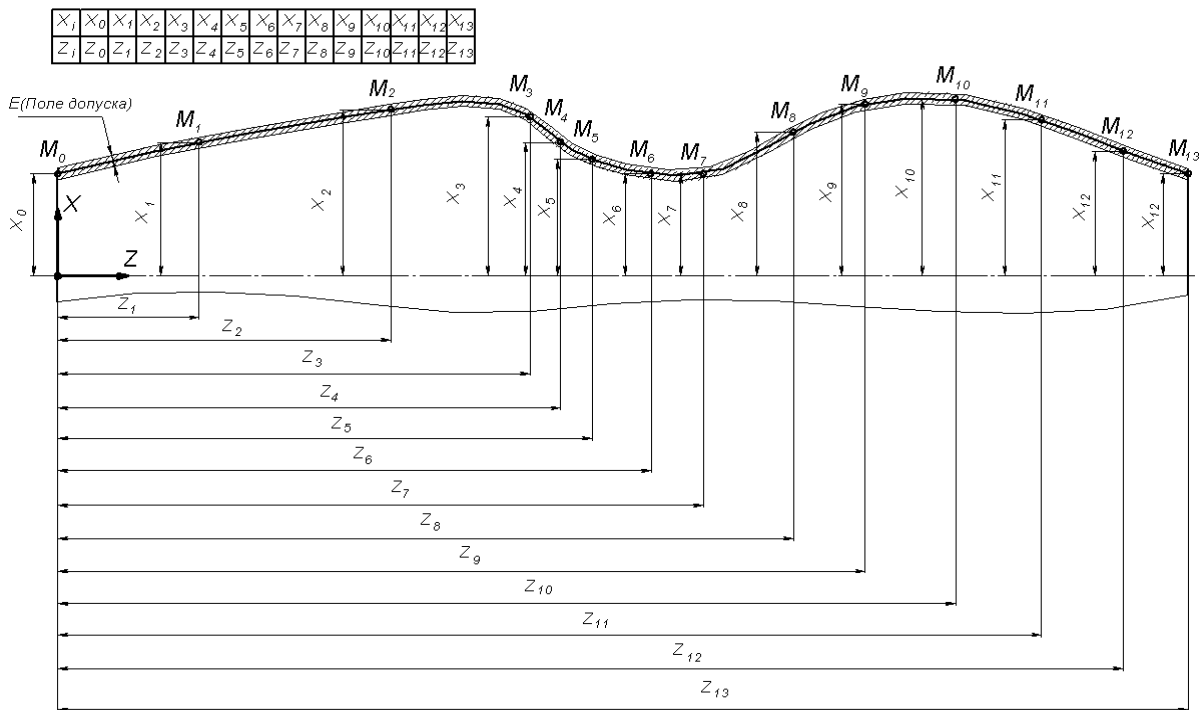


Рис. 1. Запис утворюючої поверхні деталі сплайном

Сучасні комп'ютерні технології дають можливість будування 3D моделі, які у подальшому будуть носієм геометричної інформації на шляху від прийняття конструкторського рішення до розрахунку траєкторії руху формоутворюючого ріжучого інструменту і контролю точності.

Слід також відзначити, що особливості підготовки керуючих програм металообробки на верстатах з ЧПК вимагають наявності інформації про матеріал заготовки і її геометричні параметри, дані щодо використовуваних верстатних пристосувань і ріжучого інструменту, задання ефективних режимів обробки і т. ін. Досягнення високоточної обробки складних поверхонь має певні особливості. Наприклад, для запису траєкторії руху інструменту на чистових і попередніх переходах формуються умови досягнення високої точності обробки шляхом призначення певних припусків, які забезпечують рівномірність зусиль різання і, як результат — стабільність пружних деформацій технологічної системи.

Розглянемо варіант рішення задач управління точністю запису геометричних даних, записаних сплайнами, у вигляді інтерполяційних ламаних [10]. Такий підхід є зручним для використання в САД-системах. Управління точністю записом геометричної інформації, яка буде використовуватись для розрахунку траєкторії руху інструменту, створює можливість вирішення поставлених задач при мінімальних витратах на обчислення і відпрацювання приводами верстатів заданих переміщень для визначеної точності.

На рис. 2 показаний контур деталі, записаний сплайном, з певним допуском E , і контур у вигляді ламаних, які знаходяться у полі допуску E . Алгоритм отримання такої ламаної легко реалізується на практиці і дає змогу автоматично отримувати контур з мінімальною кількістю ламаних Γ_i та регулюванням «густоти» ланцюгів в залежності від кривизни первинного контуру [10]. На рис. 2 видно, що кількість точок $M_i(X_i, Z_i)$, по яким збудований сплайн $(S(x, t), (z, t))$, більше ніж точок $M_i^*(X_i, Z_i)$. Відповідно, кількість ламаних Γ_i , що утворюють контур, також є мінімальна.

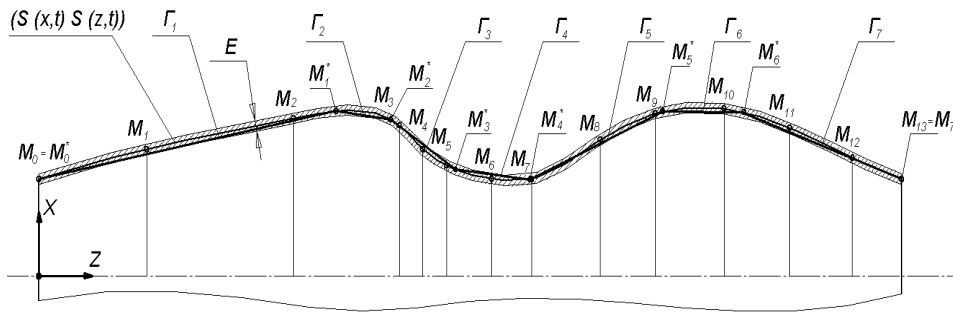


Рис. 2. Запис контура деталі ламаною, густина ланцюгів якої залежить від кривизни

Інтерполяційну ламану з мінімальною кількістю ланцюгів n , яка лежить в полі допуску E , можна вважати оптимальним розрахунковим варіантом і позначимо як $n_0 = n_0(\varepsilon, \Gamma)$. Послідовність можливих варіантів інтерполяційних ламаних, які відповідають вимогам по точності, можна вважати асимптотично оптимальною за умови

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{n_0(\varepsilon, \Gamma)}{n_*(\varepsilon, \Gamma)} = 1.$$

Геометрична інформація у такому виді може бути використана для будови 3D моделей і у подальшому використана для розрахунку траєкторії руху формоутворюючого ріжучого інструменту на верстатах з ЧПК.

Важливе практичне значення може мати використання даного підходу для розподілення величин припусків на попередніх технологічних переходах при обробці різанням. Рівномірність шару металу на деталях складної форми, який видаляється з поверхні заготовки, забезпечує стабільність зусиль різання, що створює передумови для їх урахування при розрахунках траєкторій руху інструменту.

Послідовним додаванням припусків на обробку легко визначити геометричні параметри можливої заготовки деталі, яка може мати також складну просторову форму. В таких випадках логічно виникає задача проектування відповідного оснащення, робоча поверхня якого повинна мати відповідні геометричні форми і розміри. Наприклад, робоча поверхня плити нижньої і плити верхньої об'ємного штампу визначається за розмірами бажаної штампівки. У випадку використання лиття по виплавлюваних моделях сама модель є носієм геометричних даних для створення разових ливарних форм.

Як відмічалось раніше, при розрахунках траєкторій руху інструментів на попередніх технологічних переходах можливе управління розміщенням проміжних значень інтерполяційних точок, через які будується сплайн, задаванням відповідних значень поля допуску E .

На рис. 3 показаний варіант розміщення припусків на обробку проміжних поверхонь розглянутої на рис. 1 деталі, яка задана інтерполяційним сплайном. Для розрахунків використовуються координати відомих інтерполяційних точок і розраховуються відповідні проміжні значення додаткових координат точок для кожного технологічного переходу.

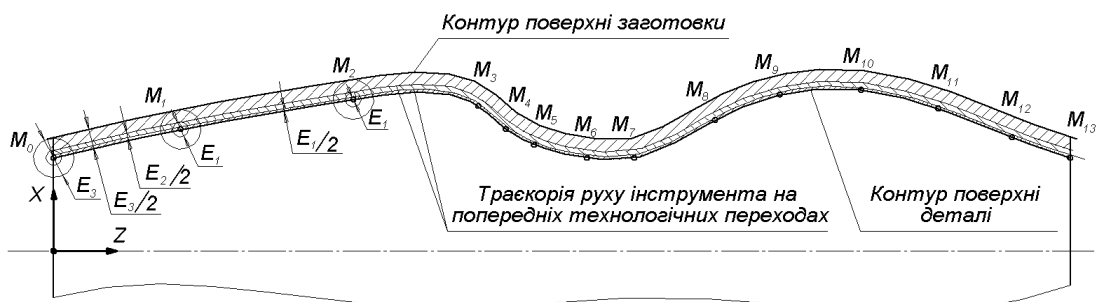


Рис. 3. Варіант розподілення траєкторії руху формоутворюючого інструменту на проміжних технологічних переходах і визначення геометричних параметрів заготовки

Методика визначення граничних розмірів і значення припусків по переходах може бути збережена у відповідності до традиційних підходів, які відпрацьовані на практиці конструкторами і технологами.

Висновки

Управління точністю запису складних контурів деталей сплайнами і ламаними, у порівнянні з записом таблицями координатних точок, створюють передумови ефективного розрахунку траєкторій руху формуючого інструменту на верстатах з ЧПК як на остаточних, так і на попередніх технологічних переходах. Запропонований метод дає можливість спрощеного розрахунку геометричних параметрів заготовок деталей, які мають гладкі складні просторові контури. Отримані розрахункові дані заготовки можуть бути використані для проектування відповідного оснащення для штампування (робочих поверхонь плит об'ємних чи вирубних штампів), лиття по виплавлюваних моделях та ін.

Список використаної літератури

1. Равська Н.С., Мельничук П.П., Мамлюк О.В., Ніколаєнко Т.П., Охріменко О.А. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Київ, 2013. 215 с.
2. ДСТУ 2337-94 Елементи металевого корпусу надводних кораблів і суден конструктивні. Терміни та визначення.
3. ДСТУ 2355-94 Розміри надводних кораблів і суден головні. Терміни, визначення та літерні позначення.
4. Інноваційні технології проектування та побудови суден і засобів океанотехніки: монографія /С. С. Рожков та ін. Миколаїв: Нац. ун-т кораблебудування, 2009. 354 с.
5. Тверовский Л.Д., Ловигін А.А. Сучасний верстат з ЧПУ і CAD/CAM-система. Видавництво Print2print, 2018. 280 с.
6. Vikram Sharma, Vikrant Sharma, Om Ji Shukla Principles and Practices of CAD/CAM. Taylor & Francis. 2023.
7. Ли К (Кунву) Основи САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004. 560с.
8. Ahlberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. Properties of analitic splines, I. complex polynomial splines, J. of Analysis an Appl.33,1971, P. 234–257.
9. Сплайн-функції та їх застосування / Б.П.Довгий, А.В.Ловейкін, Є.С.Вакал, Ю.Є.Вакал. К.:Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2016. 117 с.
- 10.Коротков В.С. Запис геометричних параметрів деталей складної форми: монографія / В.С.Коротков. Кам'янське : ДДТУ, 2019. 110 с.

INCREASING THE EFFICIENCY OF METAL PROCESSING ON CNC MACHINES OF PARTS OF COMPLEX SPATIAL FORM

Abstract

Parts with aerodynamic or hydrodynamic properties, which have smooth surfaces of variable curvature, are widely used in the aviation and rocket and space industries, shipbuilding, manufacturing of turbines, blades of wind generators, etc. During their construction, modern information and computer technologies are used, complex calculations are performed using specific mathematical methods. Representation of such surfaces on drawings, in comparison with details of the usual form, requires the use of methods difficult for visual representation, for example, the description of surfaces with a set of coordinate points.

In the manufacture of such parts, for example, by cutting on CNC machines, many problems arise, which are associated with the calculation of the trajectory of the movement of the forming tool at various stages of the technological process.

To achieve high efficiency in the production of products with surfaces of complex shape, it is advisable to use splines, which make it possible to record the contours of parts with a given accuracy.

On the example of preparation for processing by cutting a part with surfaces of a complex shape on a CNC lathe, the option of using splines and broken ones is considered, which make it possible to control the accuracy of recording the contours of parts and trajectories of tool movement.

An important technological result of using this approach is the possibility of calculating allowances for previous technological passes, or determining the geometric parameters of the workpiece, which may have a complex geometric shape.

As an example, a variant of defining allowances and tolerances for the processing of details, which are specified by interpolation splines, is presented. For calculations, the coordinates of the interpolation points are used and the corresponding calculated dimensions for each technological transition, the limiting dimensions and the limiting values of allowances are calculated.

References

- [1] Ravska N.S., Melnychuk P.P., Mamljuk O.V., Nikolaenko T.P., Ohrimenko O.A. *Osnovy formovorenja poverhon pry mehanichnyy obrobci [Basics of forming surfaces during mechanical processing]*. Navchalny posibnyk dlja studentiv mehanichnyh specialnostey vyschih navchalnyh zakladiv. Kyiv, 2013. 215 p. [in Ukrainian].
- [2] DSTU 2337-94. *Elementy metalevogo korpusu nadvodnyh korabliv i sudden. [Elements of the metal hull of surface ships and vessels are structural]* Terminy ta vyznachennja. [in Ukrainian].
- [3] DSTU 2355-94. *Rosmiry nadvodnyh korabliv s sudden golovni [The dimensions of surface ships and vessels are important]* Terminy, vyznachennja ta literni poznachennja [in Ukrainian].
- [4] *Innovaciyni tehnologiyi proektuvannja ta pobudovy suden I zasobiv okeanotehniky [Innovative technologies for the design and construction of ships and ocean engineering equipment]: monografija* / S.S. Roghkov, B.S. Blinzov, B.F. Kvasnyckiy [ta in.]. – Mykolaiv: naz.un-t korablebudovanja, 2009. 354 p. [in Ukrainian].
- [5] Teverovskiy L.V., Lovygin A.A. *Suchasnyi verstat z CHPU i CAD/CAM-systema. Vydavnyzstvo Print2print*, 2018. 280 p.
- [6] Vikram Sharma, Vikrant Sharma, Om Ji Shukla *Principles and Practices of CAD/CAM*. – Taylor & Francis / 2023. 222 p.
- [7] Li K (Kunvu) *Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE)*. SPb:Piter, 2004. 560 p.
- [8] Ahlberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. Properties of analitic splines, I. complex polynomial splines, *J. of Analysis an Appl.*33,1971, p. 234–257.
- [9] Dovgiy B.P. *Splain-funkziy tai h zastosuvannja* / B.P. Dovgiy, A.V. Loveikin, E.S.Vakal, J.E. Vakal. K.: Vydavnycho-poligrafichnyi zentr «Kyivskiy universitet», 2016. 117 p. [in Ukrainian].
- [10] Korotkov V.S. *Zapys geometrychnyh parametriv detaley skladnoi formy [Recording of geometric parameters of parts of complex shape]: monografija* / V.S. Korotkov. Kamjanske: DDTU, 2019. 110 p. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 09.02.2024