

УДК 620.179.14 (088.8)

ДУАЛЬНІСТЬ КООРДИНАТИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У СИСТЕМІ КООРДИНАТ МЕТАЛООБРОБЛЯЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

© Л. С. Глоба, д.т.н., професор, В. І. Скицюк, к.т.н., с.н.с.,
О. О. Плотников, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

В статье рассматриваются основные группы погрешностей, которые имеют место при определении координаты поверхности касания с учетом факторов рассмотренных в предыдущей статье.

В связи с этим вводится понятие дуальности поверхности, которое является фундаментальным при разработке алгоритмов работы систем контроля касания для станков с ЧПУ.

In a paper are considered generally deflection group, which occurred at the determination of the coordinate touch surface taking into account the factors, which are considered in the previous paper. In this connection surface's duality term is introduce, which is basic for creation the work's algorithm of the touch control system for the NC machine tool.

Вступ

Розглядаючи процес торкання технологічних об'єктів (ТО) неможливо не помітити кілька важливих особливостей, які супроводжують це явище як з погляду фізики процесу, так і можливих технологічних задач, котрі вирішуються у цей спосіб.

При визначенні координати поверхні на верстатах з ЧПК використовується ціла низка приладів, які реєструють момент торкання інструменту до поверхні деталі і вже за отриманим сигналом фіксують координату поверхні. Працюють такі прилади (системи контролю торкання — СКТ) завжди за одним і тим же кінематичним способом руху, тобто — відтяжне багаторазове торкання [1]. При цьому координата оцінюється за кількома торканнями на мінімальній швидкості. Але для кожної існуючої СКТ є характерним те, що вона працює у релейному режимі незалежно від конструкції. Подібна ситуація викликає

цілком зрозумілу похибку у визначенні координати поверхні ТО. Основний чинник таких процесів ще ніколи не розглядався у технологічних процесах, хоч має досить вагомий вклад у загальний результат вимірювання. Тому у роботі розглядається процес реєстрації координати поверхні з погляду фізики процесу та кінематики руху та їх впливу на точність отриманої координати.

Основною проблемою, яка розглядається в цій статті є продовження розмови про основні чинники впливу на подвоєння координати поверхні, які суттєво діють у високоточних технологічних процесах. У попередній статті [2] вже було розглянуто питання про це явище, котре супроводжує виготовлення деталей на верстатах з ЧПК.

При розгляді способів, завдяки яким визначають координату поверхні того чи іншого ТО, необхідно в першу чергу з'ясувати, який саме фізичний процес буде виконувати функції фундаментального при оці-

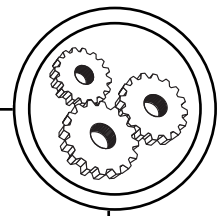
нці моменту торкання [3]. Аналіз (дослідження) цієї проблеми у сучасних технологічних процесах вказує на те, що всі вони базуються на фізичних властивостях поверхні ТО, до того ж таких, які мають можливість створювати стрибкоподібну зміну своєї величини у просторі. Чинником подібного вирішення проблеми є те, що СКТ мають незначну чутливість до зміни розташування інструменту на один крок руху верстата. СКТ налаштована на якусь одну потужність зростання твердості (пружності) матеріалу буде мати статичну похибку в залежності від його пружності, основним чинником якої є зростання потужності в залежності від глибини уявного занурення. Але для того, щоб отримати сигнал торкання поверхня повинна отримати тиск від СКТ достатньої потужності, щоб мати спрацювання чутливої системи. Як наслідок прогин поверхні ТО та чутливого елемента призводить до втрати точності. Окрім того, коли оцінка точності координати наближається до надвисоких (10—200 Е), починається вплив фізики поведінки поверхні на рівні хімічних реакцій та молекулярного зчеплення. Боротьба з цим явищем наприклад для вимірювальних головок контактної конструкції вимагає вирішення двох конструкторських задач протилежного спрямування [4, 5]. З одного боку необхідно зменшити тиск на поверхні деталі, а з іншого забезпечити необхідну потужність тиску у електричних контактах, які механічно зв'язані зі шуп-штангою.

Поняття про дуальність координати поверхні ОВ

Вищенаведені факти та розгляд спеціалізованої літератури [6] вказує на те, що визначитися з коор-

динатою поверхні ОВ є вкрай складна задача. Чим вище точність необхідна для визначення координати, тим більше проблем постає з самим поняттям «поверхня» тіла, як таким, що визначить місце її розташування у просторі, а тим більше на технологічному устаткуванні. До цього варто додати, що навіть за впорядкованої атомарної структури поверхні (кристалічні тіла) поняття «поверхня» має досить невизначений характер. Оскільки атоми мають наближену до кулястої форми, то за будь-якого впорядкованого розташування вона буде мати вигляд пагорбків з підйомами та чарунками. Тобто, з цього погляду технологічна площина вимірювання може знаходитись у межах від максимального виступу до глибини чарунки і, як наслідок, створює розбіжність координати у цих межах. Взаємодія поверхні ОВ та ЧЕ призводить до того, що розвиток процесу торкання вимагає зміни потужності у момент торкання, а тому це повинно супроводжуватися відповідним рухом назустріч один одному (рис. 1, а).

Так, наприклад, якщо ЧЕ рухається з права наліво і налаштований на фізичний закон потужність якого у приповерхневому шарі змінюється за $1/x^b$ (рис 1, б, f_1), то в межах своєї чутливості він почне реєструвати явища, зв'язані з процесом торкання за потужності U_2 , і йому потрібен рух на відстань $(k_i \cdot V_p \cdot t_T)$ та час (t_T) для визначення його дійсності. Відбувається це з тих чинників, що будь-яка СКТ налаштовується на високий рівень спрацювання для того, щоб відрізнити корисний сигнал від перешкоди, а для цього необхідно мати відповідну зміну потужності та час для достеменного впевнення що це дійсно торкання.



Таким чином, скорочений підсумок вищесказаного дає наступний результат:

- навіть за умови, що торкання ОВ та ЧЕ відбувається у точці при рухові по одній з координат, визначитися з координатою поверхні неможливо, оскільки існують неліквідні варіації поверхні на мікро-рівні;

- при наявності торкання між ОВ та ЧЕ створюється перехідні зони зміни потужності фізичних законів, по яких неможливо точно визначитися з поверхнею розподілу і, як наслідок, її координатою;

- властивості ЧЕ та ЧЕ такі, що вони при спільному русі з ОВ та ОВ створюють помітні розходження при визначенні координати поверхні, які лише нескінченно наближаються одна до одної;

- будь-яке підвищення чутливості для ЧЕ та ЧЕ не призводить до однозначного визначення координати поверхні, оскільки на своїй межі має зону невизначеності поверхні на рівні фізичних властивостей ОВ та ЧЕ.

Тобто існують дві низки чинників, від яких залежить якість визначення координати:

- комплекс фізичних явищ, котрі визначають межу невизначеності координати у зв'язку з властивостями поверхні ОВ як фізичного об'єкту дослідження і є некерованими оскільки залежать від фізики поверхні;

- комплекс технічних властивостей ЧЕ, які визначають межу невизначеності координати поверхні, але можуть бути керованими у якомусь інтервалі, який визначається його конструктивними особливостями;

- комплекс технічних властивостей та вад координатної системи відліку, по якій визначається коор-

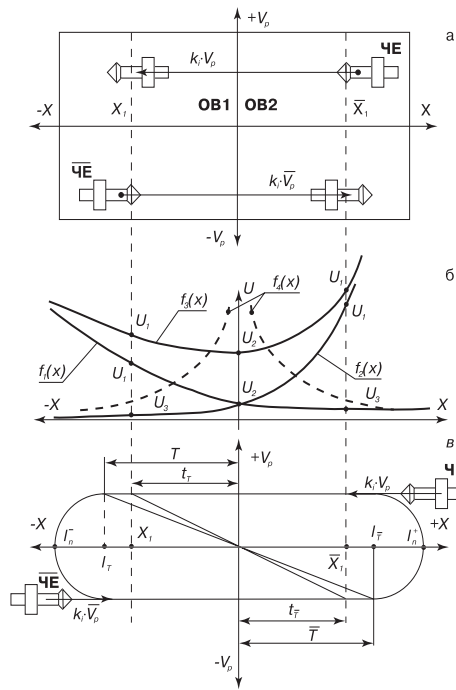


Рис. 1. Графічні побудови до пояснення ефекту утворення дуальності поверхні торкання

дината моменту торкання, тобто похибки рушійно-координатної системи верстата.

Наразі є можливість стверджувати, що ширина фізичної зони Δ_{ϕ} буде залежна від наступних чинників:

$$\Delta_{\phi} = \Delta_{BB} + \Delta_{xim} + \Delta_r + \Delta_k. \quad (1)$$

Δ_{BB} — ширина зони, яка визначається силами Ван-дер-Ваальса [7]. Розміри цієї зони становлять приблизно два-три радіуси атомів поверхневого шару ОВ. Визначитися з нею більш-менш точно можливо лише за монофізичного складу матеріалу ОВ, а отже для реального матеріалу, який у своєму хімічному складі має досить широкий склад хімічних елементів та їх з'єднань, є дуже невизначеною і буде мати вплив при намаганні досягти точності у $5 \cdot 10^{-5}$ ($5 \cdot 10^{-5}$ мкм).

$\Delta_{хим}$ — зона активних хімічних реакцій на поверхні ОВ. При металлообробці оновлена поверхня ОВ контактує з навколишнім середовищем основний склад якого є комплекс як окремих хімічних елементів високо активної дії (O_2 , S, C), так і їх з'єднань (H_2O , SO, CO, H_2SO_4 , H_2CO_3 , H_2NO_3 тощо). Все це створює динамічний процес хімічної реакції на поверхні ОВ основна вада якого є постійна зміна поверхневої геометрії. Ширина цієї зони може коливатися у широких межах від долів мікрона до кількох десятків.

Δ_r — геометричні спотворення поверхні (тех. шорсткість) може мати досить великі коливання до десятків мікрон. Згідно стандартів чистоти поверхні вважається, що розмір деталі вимірюється по виступам шорсткості поверхні, а отже звідсіля витікає, що поверхнею деталі вважається площина, яка спирається на верхівки виступів шорсткості. Реальна поверхня деталі не є ідеалізованою геометричною поверхнею. Крапка торкання ЧЕ хоч і може вважатися нескінченно малою площиною, але її площа не дорівнює нулю. У такому випадку буде існувати залежність від розмірів цієї площі, навіть якщо вона і буде нескінченно мала (межа у один діаметр атома матеріалу ЧЕ). При наявності шорсткості поверхні таке торкання буде мати якщо не площинний контакт, то ковзаючий, який тільки ускладнює процес вимірювання.

Δ_k — координатна нестабільність поверхні у просторі та часі. Така нестабільність у першу чергу пов'язана з температурними коливаннями поверхні у просторі металорізальних систем і по другу з природнім процесом старіння деталі і як наслідок зміною координати її поверхні.

Розмір таких коливань може сягати 10×20 мкм в залежності від типу верстата, матеріалу деталі, тощо.

Що стосується цієї невизначеності поверхні ОВ (1), то така сама невизначеність є притаманною і ЧЕ. Як наслідок, у зоні торкання може утворитися ситуація взаємодії між властивостями ОВ та ЧЕ (рис. 1, б), тому у найкращому випадку треба розраховувати на подвійне значення величини Δ_ϕ (1).

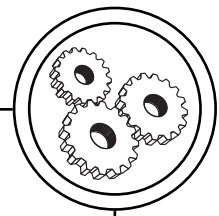
Наступний комплекс невизначеності є технічна, яка притаманна ЧЕ. На відміну від фізичної, яка є притаманною як ОВ, так і ЧЕ, технічна невизначеність є вадю лише ЧЕ:

$$\Delta_T = \Delta_y + \Delta_V \quad (2)$$

Δ_y — зона невизначеності, яка є залежною від чутливості ЧЕ до фізичного принципу роботи покладеного у засади його роботи. Чутливість ЧЕ є незалежною від часу і може досягати досить високих значень, але вона теж має свою межу, яка пов'язана з можливостями визначення корисного сигналу торкання за його параметрами на тлі особистих шумів та шумів утворених умовами роботи. На сьогоднішній день найкращі системи торкання мають таку межу у 200 Е (0,02 мкм) [8], тобто мають можливість оцінки поверхні на досить високому рівні.

Δ_V — невизначеність координати поверхні пов'язана з швидкістю руху $k_j \cdot V_p$ ЧЕ та часом T та \bar{T} аналізу на торкання та не торкання.

Для того, щоб однозначно зареєструвати торкання, ЧЕ повинен пройти шлях для зміни потужності фізичного закону від U_2 до U_1 (рис. 1, б $f_j(x)$). До того ж рівень потужності U_1 однозначно буде визначати факт торкання в силу особливостей своєї побудови. Оскільки при



цьому ЧЕ проходить відстань $k_i \cdot V_p \cdot T$, то існує можливість визначити координату безпосередньо наближену до рівня U_2 , який за умови вважається поверхнею розподілу. За умови реєстрації факту торкання СКТ підвищує свою чутливість аналізуючи на рівні шумового тла наявність контакту. Вихід з торкання супроводжується тим, що за рівня U_3 прилад СКТ вже не отримує підтвердження факту торкання навіть за максимальної чутливості. Тобто, за руху від крапки з потужністю U_3 ЧЕ рухається на відстань $k_i \cdot V_p \cdot \bar{T}$ і тільки тоді отримує сигнал, що контакт відсутній. Знов таки, за відомих параметрів (k_i, V_p, \bar{T}) можна максимально наблизитись до координати з потужністю U_2 . Попри можливі способи визначення координати за принципом вхід-вихід з торкання, існує відтинок невизначеності між рівнями потужності U_1 та U_3 , який визначається величиною Δ_ϕ (1).

Достатньо спрощеного погляду на рух ЧЕ, щоб визначитися в тому, що при реєстрації координати він буде створювати аналогічні подвоєння координати поверхні OB_2 (рис. 1, б, $f_2(x)$). Діаграма руху ЧЕ буде дзеркально симетричною до діаграми на рис. 1, в.

З вищерозглянутого видно, що основним чинником високої якості визначення координати поверхні є потужність фізичного закону у приповерхневій зоні. У випадку, коли необхідно визначитися з координатою поверхні по підсумковому закону (рис. 1, б, $f_3(x), f_4(x)$) ступінь невизначеності зростає, адже в цьому випадку СКТ повинна реагувати на мінімальні та максимальні значення цих функцій. Оскільки для таких функцій потужності рівні, то і як наслідок з'явиться ситуація, коли СКТ буде фіксувати два рівно-

цінні значення потужності і як наслідок дві координати поверхні. Основна проблема роботи таких СКТ — це за наявності інерційності при русі перебіг координати реєстрації і, як наслідок, подовження часу визначення координати з-за можливості потрапити у автоколивальний режим.

На відміну від двох попередніх невизначеностей осторонь стоїть комплекс невизначеностей пов'язаний з точністю фіксування координати, який притаманний властивостям рушійної системи, системи відліку координат та часу прийняття рішення про реєстрацію координати. Реальна СКТ, як вже вище було вказано, має два відтинки часу t_T та \bar{t}_T , які безпосередньо зв'язані з фізичним процесом торкання. Але під часом T та \bar{T} приховані більш складні процеси, ніж це здається на перший погляд, тому що вони у свою чергу є складовими кількох часових процесів щодо визначення координати поверхні. Тому навіть наведений склад у вигляді:

$$T = t_T + t_{PT} \text{ та } \bar{T} = \bar{t}_T + t_{P\bar{T}} \quad (3)$$

може однозначно регламентувати лише інтервали часу t_T та \bar{t}_T , як сталі СКТ. В той же час інтервали часу t_{PT} (рішення про торкання) та $t_{P\bar{T}}$ (рішення про неторкання) є повністю залежні від швидкості опитування чутників системою CNC та швидкістю реакції програми на отриману команду, тобто яка б не була швидкодіюча програма керування, вона все-таки має кінцевий час для вирішення проблем пов'язаних з процесом торкання, адже інструмент у цей час рухається, а це створює додаткову похибку, яку необхідно враховувати. У такому випадку є єдиний спосіб боротьби з подібним явищем — це максимальна швидкодія та максимальна точність визначення часу як t_{PT} , так і $t_{P\bar{T}}$.

Системам відліку координат притаманні всі характерні вади, що і процесу торкання, тобто комплекс похибок (1) та (2) є для них абсолютно природнім, оскільки точність їх виготовлення є теж обмеженою завдяки технологічним процесам. Якщо зважити на те, що їх точність повинна бути на межі метрологічних, то досягнення високоточного позиціювання є вкрай складною, а отже наріжною задачею верстатобудування.

Рушійна координатна система верстата, незважаючи на досить високі точності виконання, теж має свої вади. Основна проблема тут у виконанні високоточних кульових підшипників, які навіть у неробочих ходах дають похибки позиціювання. Тобто вони з часом при роботі вже на перших етапах створюють похибки руху під дією навантажень на робочий інструмент. Здебільшого це наслідок деформацій у рушійних системах, які не піддаються точному розрахунку. При постійних навантаженнях починається їх плінна руйнація, котра призводить до такої ж самої плінної втрати точності. Постійно враховувати її на сьогоднішній день неможливо, оскільки невизначені основні закономірності процесу, а достеменних досліджень ніхто не робив. Так авторами досліджувалися похибки позиціювання ОЦ (15 років роботи), які показали, що позиціювання по координатах має неоднозначний характер для всіх координат. Окрім того було зафіксовано досить помітну асиметрію в залежності від напрямку руху. Такі розбіжності по координатам X, Y становили 10—15 мкм (в залежності від координати) і до 150 мкм по координаті Z.

Таким чином, похибки, котрі у підсумку складають наступну величину:

$$\Delta_{ФК} = \Delta_{ПР} + \Delta_{ВК} + \Delta_{РС} \quad (4)$$

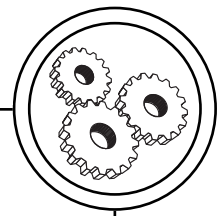
де $\Delta_{ФК}$ — похибка фіксування координати технологічною системою; $\Delta_{ПР}$ — похибка прийняття рішення «торкання-неторкання»; $\Delta_{ВК}$ — похибка визначення координати системою відліку; $\Delta_{РС}$ — похибка роботи рушійної системи під навантаженням.

Така невизначеність координати поверхні найбільш впливова у сучасних технологічних процесах і потребує ретельного вивчення.

Висновки

У наведеній статті розглянуто основний комплекс похибок, які створюють розбіжності між реальними розмірами ТО та уявними, котрі створюються у системі CNC під впливом інформації, яка надходить до неї від чутників торкання та систем визначення координат. Однозначно можна стверджувати, що існує невизначеність у розмірах ТО, яка зв'язана з конкретними фізико-хімічними властивостями його поверхні і обмежує максимально можливу точність вимірювання. Одночасно з цим існують межі можливої точності технологічного обладнання, які створюють схожі проблеми.

При використанні СКТ виникають технологічні проблеми, які створюють ефект подвійності поверхні, тобто завжди буде існувати зона невизначеності розташування поверхні ТО. У зв'язку з цим необхідно визначитись, як саме СКТ повинна реагувати на поверхню ТО. Тому наступна стаття буде присвячена розгляду саме цього питання.



1. Скицюк В. І., Сілін Р. С. Технологія торкання технологічних об'єктів. Багато-разове торкання технологічних об'єктів. Ч. 3 // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — 2001. — № 3. — С. 143—150. 2. Глоба Л. С., Скицюк В. І., Плотников О. О. Ефект дуальності поверхні торкання та його вплив на точність визначення координати поверхні // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. — Кіровоград: КДТУ. — 2003. — Вип. 13. — С. 174—180. 3. Eu relacion con la calidad y la productividad // Nova maquina 2000. — 1991. — № 175. — 93—96. 4. Скицюк В. І., Махмудов К. Г., Клочко Т. Р. Технологія тонтор. — К.: Техніка. — 1993. — 80 с. 5. А.с. 1640347 СССР, МКИ5 G 01 B 5/20. Измерительная головка. 6. Епифанов В. В. Физика твёрдого тела. — М.: Высшая школа. — 1965. — 276 с. 7. Кузмичев В. Е. Законы и формулы физики/ Отв. ред. В. К.Тартаковский. — Киев: Наук. думка. — 1989. — 864 с. 8. V. F. Ostafiev and Patri K. Venuvinod. A new electromagnetic contact sensing technique for enhanceing machine accuract // Manufacturing science and engineering. — 1997. — Med. — Vol.6—1. — Volume 1. — ASME 1997. — P.113—119.

Надійшла до редакції 20.02.04