

УДК 620.179.14(088.8)

ВИМІРЮВАННЯ ФОРМИ ДЕТАЛІ У СТАТИЧНОМУ СТАНІ ТА ЛІНІЙНОМУ ДЕТЕРМІНОВАНОМУ РУСІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Скицюк В.І., Діордіца І.М., Науменко В.І., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" м. Київ, Україна

Стаття присвячена питанням, пов'язаним з геометричною точністю вироблення деталей циліндричної форми на токарних верстатах з системами CNC. Досліджується можливість отримання високоточних геометричних форм циліндричного вигляду за допомогою комплексної адаптивної системи процесом металообробки

Вступ

У сучасній металообробці існує безліч проблем, зв'язаних з виготовленням окремих деталей, для яких важливо отримати не стільки високу точність розміру, скільки довершену геометрію форми. Здебільшого ця проблема металообробки не дає можливості отримати деталі високоточної геометрії у тих технічних процесах, де це повинно було б досягатися без особливих зусиль. Вона є застарілою вадою розімкненої технологічної оброблювальної системи (ТОС), що викликає за собою низку ускладнень. Характер цих ускладнень має більше математичних проблем ніж технічних, що пов'язано з безпосереднім з'єднанням в одне ціле компонентів ТОС для отримання замкненого технологічного кола. Ці завдання вирішуються посередньо, тобто мова йде про застосування проміжних приладів контролю, результати вимірювання яких автоматично перекладаються на інструмент обробки. Досягти необхідних результатів можливо лише при оптимізації кількості технологічних рухів інструменту поряд з чергуванням його технологічних властивостей, тобто різально-вимірювальні та навпаки. Звідсіля виникає й актуальність проблеми та відповідна постановка задачі та її вирішення.

Теоретичне підґрунтя у загальному вигляді щодо вимірювання інструментом координат поверхні деталі [1] та визначення форми перерізу деталі циліндричного типу [2] було закладено у попередніх роботах. Практична реалізація [3] цих досліджень стосувалася лише оброблювальних центрів з системами CNC.

Метою роботи є оптимізація руху інструменту на підставі розглядання явищ, зв'язаних з детермінованим лінійним рухом інструмента.

Кінематичний рух інструменту у процесі вимірювання деталей циліндричної форми

У двокоординатному просторі, який притаманний токарним верстатам, інструмент має можливість виконувати, хоч і обмежений, але досить специфічний рух, який може бути як плинним, так і детермінованим у просторі та часі.

Найбільш вживаним способом вимірювання геометрії наразі є спосіб обмацування поверхні за допомогою активних головок вимірювання (АВГ). У цей спосіб АВГ відтворює рух вимірювання за траєкторією A (рис.1).

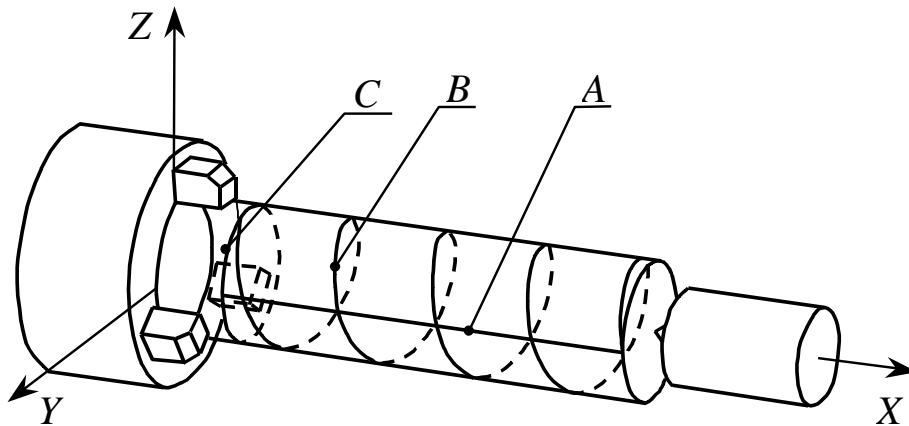


Рисунок 1 – Можливі траєкторії руху вимірювального інструмента навколо деталі циліндричної форми

У випадку ідеальної форми та відсутності ексцентриситету це повністю задовольняє вимогам виробництва. Тобто при цьому є можливість отримати параметри $D_{ц}$ та $L_{ц}$ з великою достеменністю без усіляких проблем. Теж саме можна отримати у випадку спіральної розгортки за траєкторією – *B* (рис. 1), яка є наслідком обертального руху деталі. Теж саме стосується траєкторії *C* (периметр перерізу циліндру), яка теж може бути отримана лише у динамічному стані. Досить легко збагнути, що траєкторія – *A* може бути лише статичною, на відміну від траєкторії *C*, яку можна отримати лише при обертанні деталі. Траєкторія *B* є комбінованою при одночасному русі деталі та інструмента, що відтворює у просторі траєкторію спіралі. Звідсіля є вочевидь, що рух за спіральним способом є найбільш ефективним з погляду на реєстрацію можливих відхилень від ідеальної форми поверхні.

Для початку розглянемо суто класичні способи вимірювання геометрії деталі. Реально таких способів існує два:

- плинний (безперервний), який відбувається без відриву від поверхні, тобто вимірювальний інструмент знаходиться у постійному торканні з поверхнею, де відслідковування координати поверхні відбувається завдяки системам керування CNC (реально це є лише уявна ситуація);

- детермінований, що відбувається завдяки спеціальним програмам руху у CNC і відтворює стрибкоподібний рух відносно поверхні деталі.

Порівнюючи ці два способи вимірювання необхідно зауважити: перший з них є найпростіший з погляду на те, що нема необхідності використання спеціальних програм, оскільки подібні програми відносяться до штатного реєстру CNC. Але існує вада довготривалості виміру, яка спрацьовує лише у тому випадку, коли поверхнева функція координат невідома. Використання цієї методики (способу) у випадку причинно – відомої функції поверхні вкрай нераціонально, оскільки за відомої математичної залежності достатньо мати три – чотири точки, щоб отримати повну функціональну залежність та її можливий спектр [2].

Детермінований спосіб визначення координат поверхні є найбільш ефектив-

ним на відміну від попереднього у випадках, коли функція поверхні є достатньо відомою і не викликає значного невизначення. Тоді використання цієї методики призводить до значного скорочення технологічного часу без втрати якості.

Детерміноване лінійне вимірювання

Все, що було попередньо розглянуто, стосувалось багатоточкового торкання у одному перерізі поверхні з постійними координатами у просторі [2]. Але у загальному випадку таке торкання є поодиноким дія, що не має можливості визначити розташування деталі у просторі та її форми, а також її якісні параметри. Для цього необхідно провести багаторазове (майже декілька тисяч) торкань. Тому мають використовуватися один, або кілька чутників, які поступово або одразу торкаються поверхні деталі. При таких задачах існує кілька способів руху, але в засаді таких рухів лежать прості кроки і торкання одного з відчутників до поверхні. Довжина такого кроку є відстань між крапками торкання. Загальна довжина шляху, який проходить чутник-інструмент від торкання до торкання, складається з суми шляхів по двох і трьох координатах. Різновиди лінійного руху у двох координатах (рис. 2) полягають у основі всіх інших видів руху вимірювального інструменту по поверхні деталі.

Перший варіант найпростішого кроку вимірювання має вигляд прямокутника (рис.2а), який своїми кутами спирається на точки вимірювання. Його висота над поверхнею визначається відстанню відходу інструмента від поверхні деталі. Відстань відходу від поверхні може бути за розмірами, як l_n^+ , так і l_1^+ .

Всі інші випадки відходу задовольняють цим двом величинам. Отже, у випадку відходу на відстань l_n^+ інструмент відтворює рух відходу $L_y(l_n^+)$ та час $T_y(l_n^+)$

$$\begin{cases} L_y(l_n^+) = k_n V_p \bar{T} + \frac{k_n^2}{2} L_{гр}; \\ T_y(l_n^+) = \bar{T} + \frac{k_n}{\sqrt{2}} T_{гр}. \end{cases} \quad (1)$$

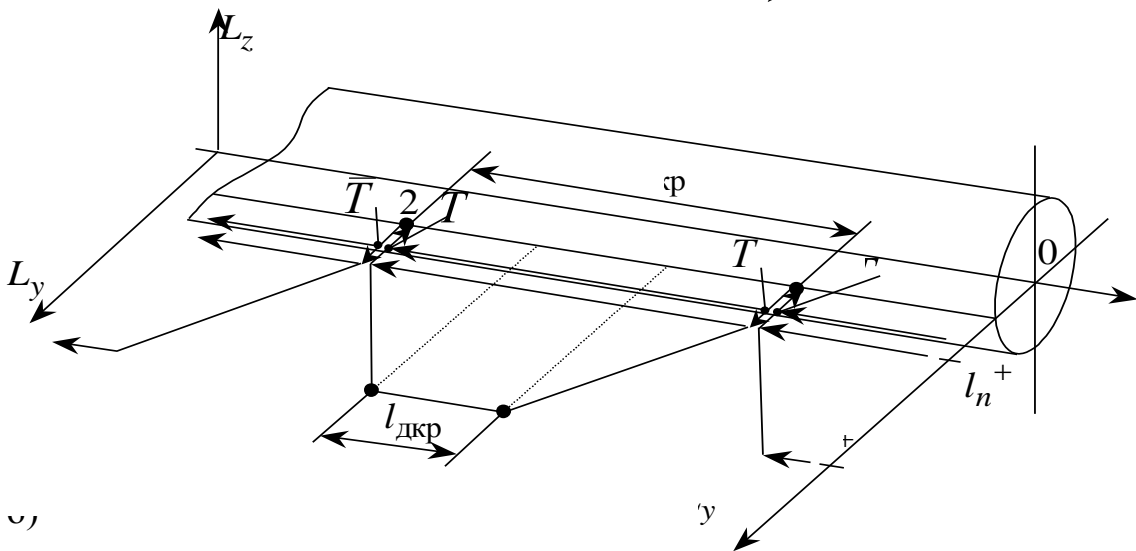
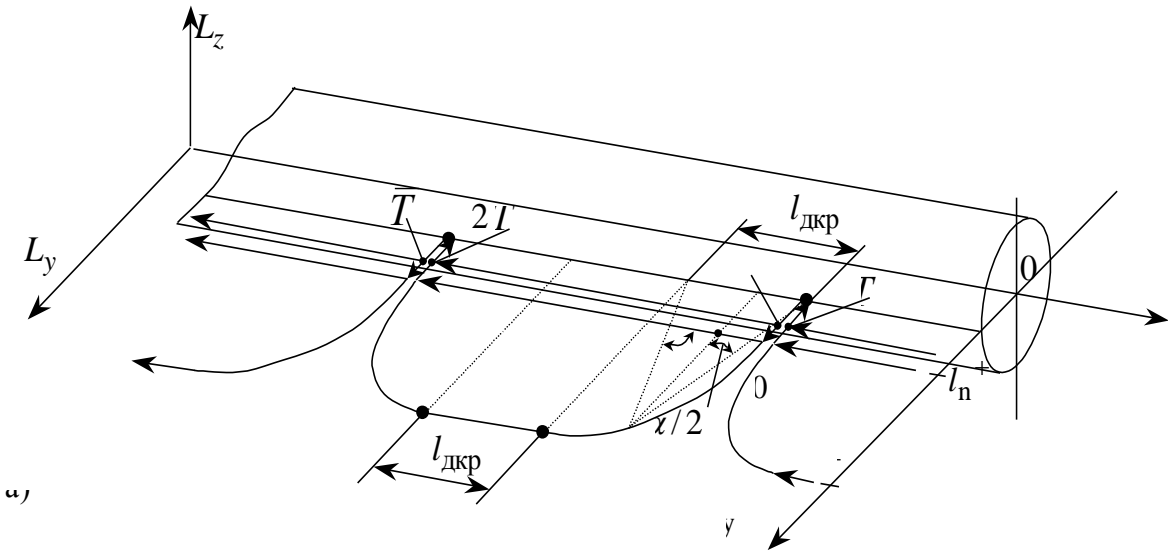
де T – час, необхідний для контролю визначення координати; \bar{T} – час, необхідний для контролю виходу з торкання; $T_{гр}$ – час розгону та гальмування системи руху; $L_{гр}$ – шлях розгону та гальмування при швидкості V_p ; V_p – максимальна швидкість системи руху; k_i – коефіцієнт зниження швидкості; k_n – коефіцієнт мінімальної швидкості системи руху.

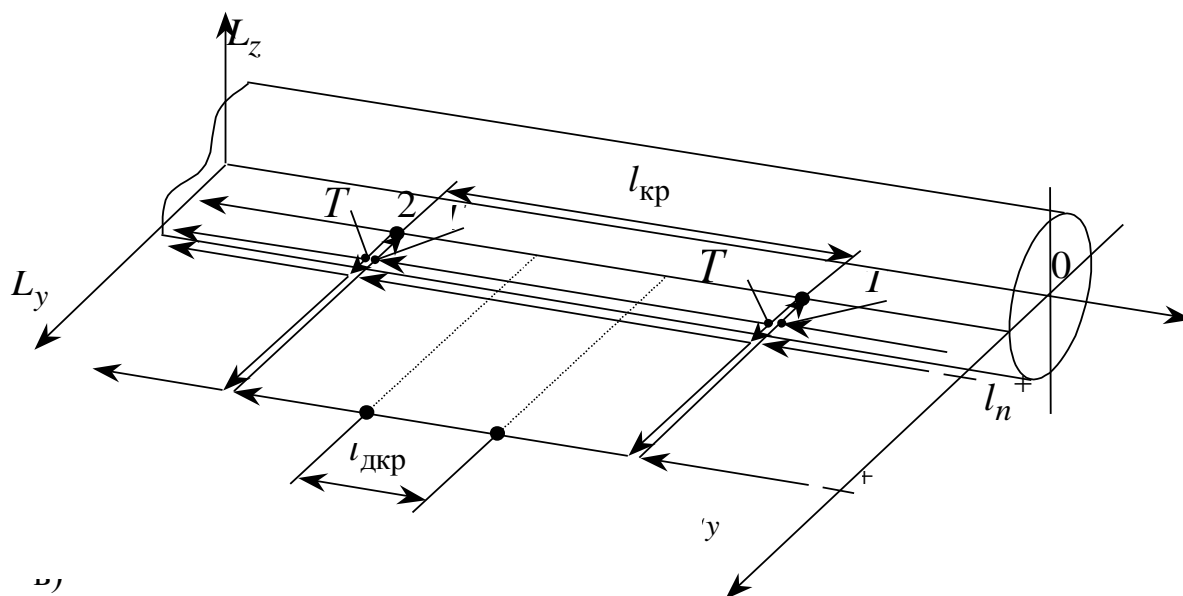
Довжина кроку при такому русі становить:

$$l_{кр} = 2L_{гр} + l_{дкр} \quad (2)$$

Відстань по координаті “X” формується за умови необхідності шляху розгону та гальмування у розмірі $L_{гр}$, та додаткового шляху $l_{дкр}$, руху з постійною швидкістю $k_i V_p$. Загальний шлях та час, котрий проходить інструмент при такому кроці:

$$\begin{cases} L_{\Sigma}(l_n^+) = V_p(2k_n\bar{T} + k_i t_{\text{дкр}}) + 2L_{\text{гр}}(k_i^2 + k_n^2) + \sum^n (l_m) \\ T_{\Sigma}(l_n^+) = 2\bar{T} + t_{\text{дкр}} + 2\frac{T_{\text{гр}}}{\sqrt{2}}(k_i + k_n) + \sum^n (l_m). \end{cases} \quad (3)$$





а – прямокутний крок; б – трапецеїдальний крок; в – півколовий крок

Рисунок 2 – Способи лінійного детермінованого руху

Оптимальним шляхом у такому випадку буде шлях, при якому $l_{окр}=0$, тобто :

$$\begin{cases} L_{\Sigma 0}(l_n^+) = 2k_n V_p \bar{T} + L_{гр}(k_i^2 + k_n^2) + \sum^n (l_m) \\ T_{\Sigma 0}(l_n^+) = 2\bar{T} + 2 \frac{T_{гр}}{\sqrt{2}} (k_i + k_n^2) + \sum^n (t_m). \end{cases} \quad (4)$$

При умові виходу на координату l_1^+ після торкання, інструмент спочатку набирає максимальну швидкість $k_i V_p$, а потім гальмується до $V_i = 0$ по цій координаті. За цих умов шлях l_1^+ та час буде:

$$\begin{cases} L_y(l_1^+) = k_n V_p \bar{T} + L_{гр} k_n^2 \\ T_y(l_1^+) = \bar{T} + \frac{k T_{гр}}{\sqrt{2}}, \end{cases} \quad (5)$$

де коефіцієнт швидкості $k = k_i - k_n$ є коефіцієнтом, необхідним для виходу на координату l_1^+ .

По координаті "X" відтворюється рух:

$$\begin{cases} L_x(l_1^+) = k^2 L_{гр} + l_{дкр} \\ T_x(l_1^+) = \frac{2k T_{гр}}{\sqrt{2}} + t_{дкр}. \end{cases} \quad (6)$$

Загальний шлях та час, необхідний інструменту для подолання цієї відстані (траєкторії), буде:

$$\begin{cases} L_{\Sigma}(l_1^+) = L_{гр}(2k_i^2 - k_n^2) + V_p(2k_n \bar{T} + t_{дкр}) + \sum^n (l_m) \\ T_{\Sigma}(l_1^+) = 2 \frac{T_{гр}}{\sqrt{2}} (2k_i - k_n) + 2\bar{T} + t_{дкр} + \sum^n (t_m) \end{cases} \quad (7)$$

При оптимальному кроці $l_{\text{дкр}} = 0$ рівняння (7) отримують вигляд:

$$\begin{cases} L_{\Sigma 0}(l_1^+) = L_{\text{гр}}(2k_i^2 - k_n^2) + 2k_n V_p \bar{T} + \overset{n}{Z}(l_m) \\ T_{\Sigma 0}(l_1^+) = 2 \frac{T_{\text{гр}}}{\sqrt{2}}(2k_i - k_n) + 2\bar{T} + \overset{n}{Z}(t_m) \end{cases} \quad (8)$$

Такі траєкторії руху є не дуже вдалимими з того погляду, що для траєкторії по рівню l_1^+ шлях та час є надто довгі, а траєкторія по рівню l_n^+ є небезпечною внаслідок можливих руйнацій. Тому, окрім цих траєкторій, існують більш оптимальні за шляхом та часом. Такі траєкторії більш складні у виконанні, тому що потребують одночасного руху по двом координатам. Першим таким варіантом спрощеного руху по двом координатам (рис. 2б) є рух, коли:

- по координаті “Y” йде розгін і гальмування до виходу на координату l_1^+ ;
- по координаті “X” йде розгін до швидкості $k_i V_p$, а потім гальмування з виходом на координату точки торкання.

За таких умов траєкторія має трапецеїдальний вигляд, а проекція шляху на координатну систему буде:

$$\begin{cases} L_y = k_n V_p \bar{T} + k^2 L_{\text{гр}} \\ L_x = k^2 L_{\text{гр}} \end{cases} \quad (9)$$

При умові, що $k=1-k_n$ рівняння (9) отримують вигляд:

$$\begin{cases} L_y = k_n V_p \bar{T} + L_{\text{гр}}(k_i - k_n)^2 \\ L_x = L_{\text{гр}}(k_i - k_n)^2 \end{cases} \quad (10)$$

Реальна довжина шляху розгону та гальмування визначається як:

$$L_{xy} = \sqrt{(l_1^+ - k_n V_p \bar{T})^2 + k^4 L_{\text{гр}}^2} \quad (11)$$

Звідкіля загальний шлях та час визначається як:

$$\begin{cases} L_{\Sigma} = 2[k_n V_p \bar{T} + (l_1^+ - k_n V_p \bar{T})^2 + k^2 L_{\text{гр}}] + l_{\text{дкр}} + \overset{n}{Z}(l_m) \\ T_{\Sigma} = 2(\bar{T} + 2k T_{\text{гр}}) + t_{\text{дкр}} + \overset{n}{Z}(t_m) \end{cases} \quad (12)$$

За умови відсутності $l_{\text{дкр}}$ траєкторія руху наближається до трикутної. Однак цей варіант кроку (траєкторія), хоч і відрізняється від попереднього, більш оптимальною траєкторією, але знов-таки має її надто похилу над деталлю. З погляду на швидкість виконання кроку вона може і задовольняти, але при необхідності долати перешкоди форми деталі вона не є задовільна. Тому існують інші траєкторії, котрі є проміжними між першим (прямокутним) і другим (трапецеїдальним) варіантами. Цей варіант побудований на засадах того, що необхідно витримати з одного боку перпендикулярний відхід від поверхні (тобто по нормалі до поверхні), і, по-друге, з максимальною швидкістю перейти на лінійну швидкість перегону між крапками торкання. Здебільшого така траєкторія коливається у межах чверть кола, або йому подібними траєкторіями перегонів

(парабола, чверть еліпсу тощо) (рис. 2в). Для виконання руху по такій траєкторії необхідно мати функцію $y=f(x)$, яка наближається за своєю формою до саме таких траєкторій. Така функція розгону та гальмування $y=f(x)$ повинна забезпечувати максимальну швидкість $k_i V_p$ у координаті $L_{гр}$.

У такому випадку вихід інструменту на координату l_1^+ відбувається за умов:

$$\begin{cases} l_1^+ = k_n V_p \bar{T} + f(L_{гр}) \\ t_1 = \bar{T} + \frac{k_i T_{гр}}{\sqrt{2}} \end{cases} \quad (13)$$

Довжина повного шляху ЧЕ за таких умов:

$$\begin{cases} L_{\Sigma} = 2 \left(k_n V_p \bar{T} + \int_0^{T_{гр}} \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx \right) + l_{дкр} + \sum^n (l_m) \\ T_{\Sigma} = 2 \left(k_n V_p \bar{T} + \frac{k_i T_{гр}}{\sqrt{2}} \right) + t_{дкр} + \sum^n (t_m) \end{cases} \quad (14)$$

Оптимальна траєкторія, яка утворюється на засаді руху по колу, матиме шлях та час:

$$\begin{cases} L_{\Sigma 0} = 2k_n V_p \bar{T} + \pi k_i^2 L_{гр} + l_{дкр} + \sum^n (l_m) \\ T_{\Sigma 0} = 2\bar{T} + 2\pi k_i \frac{T_{гр}}{\sqrt{2}} + t_{дкр} + \sum^n (t_m) \end{cases} \quad (15)$$

Перевага такої траєкторії руху у тому, що будучи посередньою між першими двома, вона дещо програє першому варіантові (рис. 2а) у розмірах здоланих перешкод, але досить помітно виграє у швидкодії. У порівнянні з другим варіантом (рис. 2б) вона теж вигідніша, оскільки і перешкоду може здолати більш високу, і швидкодію має більш значну.

Висновки

Проведені дослідження детермінованого руху доводять що такий спосіб визначення геометричної форми деталі мають інформаційні втрати, якщо довжина кроку більша за можливі спотворення поверхні деталі. Але поряд з цим мають дуже високу швидкодію, коли відомий загальний математичний образ можливих спотворень.

До подальших досліджень з цього напрямку необхідно віднести спіральний спосіб руху, який має можливість охопити всю поверхню деталі.

Література

1. Скицюк В.І., Махмудов К.Г., Клочко Т.Р. Технологія ТОНТОР. - К.: Техніка, 1993. - 80 с.
2. Скицюк В.І., Науменко В.І., Діордіца І.М. Коригування форми деталей циліндричної форми у токарній металообробці. // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Серия Машиностроение. - 2005. - № 45. - С. 126 – 131.
3. Скицюк В.І., Сілін Р.С. Методика торкання поверхні деталі боковою різальною стрічкою фрезерного інструменту з метою визначення координати її поверхні. // Вимірювальна та

обчислювальна техніка в технологічних процесах. –2002. -№1. -С. 133-138.

4. Гаврилов А.Н. Точность производства в приборостроении и машиностроении. – М.: Машиностроение, 1973. – 567с.

Скицюк В.И., Диордица И.М., Науменко В.И.
Измерение формы детали в статическом состоянии и линейном детерминированном движении режущего инструмента.

Статья посвящена вопросам, связанным с геометрической точностью изготовления деталей цилиндрической формы на токарных станках с системами CNC. Исследуется возможность получения высокоточных геометрических форм цилиндрического вида с помощью комплексной адаптивной системы процессом металлообработки.

Skytsiouk V.I., Diorditsa I.M., Naumenko V.I.
Dimension of the detail form at the statical state and linear determinated motion of the cutting tool.

The work state at problems of the geometry fidelity of the cylindrical details on the lathes with CNC system. Possibility receiving of the precision of the geometry fidelity of the cylindrical details by means of complex adaptive system for the metal processing is investigated.

*Надійшла до редакції
11 січня 2005 року*

УДК 621: 538

ФІЗИЧНІ ЗАСАДИ КОНТРОЛЮ ВЗАЄМОДІЇ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА З ДЕТАЛЛЮ НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

Скицюк В.І., Ключко М.М., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" м. Київ, Україна

В роботі йдеться про засади теоретичного обґрунтування контролю точності виготовлення прецизійних деталей приладів в умовах автоматизованого виробництва, які покладені в основу сучасних контрольних-вимірювальних систем для підвищення ефективності металообробки

Вступ. Постановка завдання

Контроль зносу різального інструмента є одною з актуальних завдань, які виникають при створенні автоматизованих систем прецизійного процесу обробки металів. Процес контролю містить, по-перше, реєстрацію моменту торкання та заглиблення інструмента в деталь, яка оброблюється, для подальшого визначення стадій стану різальної частини інструменту. Як довели дослідження [1, 2, 3], високоточним методом визначення моменту торкання є метод, за яким вся система обладнання разом із деталлю розглядається як замкнений електричний ланцюг.

Перша проблема, що виникає на шляху створення прецизійних методів та приладів контролю виготовлення деталей у прецизійному приладобудуванні, - це відсутність електричних моделей, які діють на підставі вимірювання змінних або пульсуючих струмів та наслідки їх дії у замкненому електричному колі технологічної системи обладнання (ТОС).