

### Литература

1. Гинзбург Е. Г., Халебский Н. Т. Производство зубчатых колес. – Л.: Машиностроение, 1978, – 136 с.
2. Высокопроизводительное зубошлифование кругами из кубического нитрида бора / Л. Л. Мишнаевский, А. А. Сагарда, В. М. Емельянов и др. // Синтетические алмазы. – 1970. – № 5. – С. 40–42.
3. Эльбор в машиностроении / Под. ред. В. С. Лысанова – Л. Машиностроение, 1978. – 280 с.
4. Мишнаевский Л. Л. Износ шлифовальных кругов. – К.: Наук. думка, 1982. – 192 с.
5. Рябченко С. В. Разработка технологи шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. праць (Серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»)/НАН України. ІНМ ім. В.М. Бакуля. – Київ, 2006. – С. 161–168.

Поступила 09.07.10

УДК 620.179.14(088.8)

**В. І. Скицюк, І. М. Діордіца**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ*

### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ РУХУ ЗА ДОВЖИНОЮ КРОКУ ПРИ ВИМІРЮВАННІ РОЗМІРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.**

*The article is devoted questions, to related to geometrical exactness of making of details of cylindricity on lathes with the systems of CNC. Possibility of receipt of high-fidelity geometrical forms of cylindrical kind is probed by the complex adaptive system at metal-workingness.*

Нині у галузі металообробки існує безліч проблем пов'язаних з виготовленням окремих деталей для яких важливо не стільки отримати високу точність розміру, скільки довершено геометрію форми. Здебільшого ця проблема вирішуються посередньо, тобто мова йде про застосування проміжних приладів контролю результати вимірювання яких автоматично перекладаються на інструмент обробки. Подібне вирішення проблеми, має низку нездоланих вад, основною з яких є ігнорування властивості різального інструменту як вимірювального. Досягти необхідних (технологічних) результатів можливо лише за оптимізації кількості технологічних рухів інструменту поряд з чергуванням його технологічних властивостей, тобто різально-вимірювальний і навпаки. Звідси виникає і актуальність проблеми й відповідна постановка задачі її вирішення.

Зазначена проблема обумовлює постановку таких завдань:

- визначення математичного апарату, щодо отримання достеменної форми об'єкту обробки;
- розгляд ідеалізованих ситуацій, що виникають у процесі вимірювання з поступовим переходом до реальної ситуації;
- визначення кінематики оптимального руху щодо балансу між часом вимірювання та мінімальною необхідною інформацією (самодостатньою) для коригування форми деталі.

Означені завдання можна розв'язати лише шляхом аналізу впливу на кінцевий результат системи контролю в ідеалізованих випадках з подальшим переходом до узагальнень.

### **Загальний випадок порівняльного аналізу способів руху інструменту**

Насамперед зведемо всі умови руху до єдиних початкових умов. Першою необхідною умовою є необхідності рівності часу входження у торкання  $T$  часу виходу з торкання  $\bar{T}$ . У

такому випадку використовується центральносиметричне торкання і відстань  $l_n^+$  відходу від поверхні деталі стабілізується.

Другою умовою буде відсутність додаткового шляху  $l_{дкр}$ , оскільки він для різних способів різний.

Третьою умовою є те, що довжина кроку повинна дорівнювати відстані розгону та гальмування інструмента, тобто  $l_{кр} = 2L_{пр}$ .

Четверта умова – максимальна відстань відходу від поверхні деталі  $l_1^+$  повинна дорівнювати  $2L_{пр}$ .

П'ята умова стосується швидкості, а саме вона є стабільною при своїх максимальних значеннях, тобто  $V_p$ .

Описана ситуація руху зображена на рис. 1.

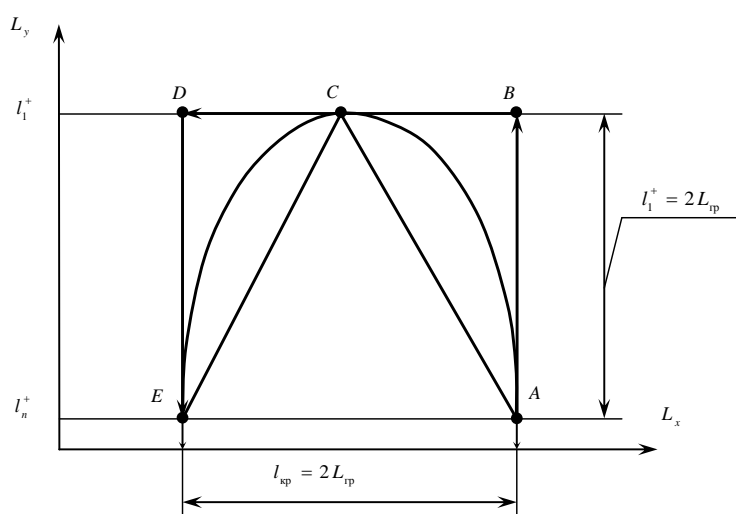


Рис. 1. Загальний випадок порівняльного аналізу способів руху інструменту над поверхню деталі: A, B, C, D, E – точки реверсу руху інструменту

Проаналізуємо довжину траєкторій руху стосовно трьох основних способів.

За прямокутного способу руху довжина треку руху без урахування руху вимірювання  $z(l_m)$  буде становити

$$l_{\Pi} = AB + BD + DE = 6L_{пр} . \quad (1)$$

За трикутного способу руху в таких самих умовах

$$L_{\Delta} = AC + CE = 2\sqrt{L_{пр}^2 + 4L_{пр}^2} = 2\sqrt{5} \cdot L_{пр} . \quad (2)$$

За півкологового ручу, який у цьому випадку перетворюється на напівеліпсоїдальний, в таких самих умовах довжина шляху інструменту

$$L_{\cap} = \overset{\cup}{ACE} = \frac{3}{2} \pi \cdot L_{пр} \left( 1 + \frac{\lambda^2}{4} + \frac{\lambda^4}{64} + \frac{\lambda^6}{256} + \frac{25\lambda^8}{16384} + \dots \right) \approx , \quad (3)$$

$$\approx \frac{\pi}{2} \cdot L_{пр} (4,5 - \sqrt{3}) \approx \frac{3\pi}{2} \cdot L_{пр} \frac{64 - 3\lambda^4}{64 - 16\lambda^2} \approx 1.37 \pi L_{пр}$$

де  $\lambda = \frac{1}{3}$ .

Як бачимо, за прямокутного способу руху шлях найдовший, але траєкторія проста, що полегшує програмування системи CNC. До того ж рушійна координатна система верстата отримує невелике навантаження.

У випадку трикутного способу руху ускладнюється програмування, але рушійна система має лише одну точку реверсу під час перегону.

За еліпсоїдального способу руху програмування системи CNC значно ускладнене, але при цьому рушійна система має мінімальне навантаження.

### Дослідження загальної тенденції способів руху при зміні швидкості траєкторії різального інструменту

Результати дослідження засвідчують, що рух за ustalених параметрів не ідеальний через відсутність зміни швидкості на окремих ділянках перегонів інструменту.

Розглянемо ситуацію, коли відхід від поверхні деталі становить половину попереднього, тобто

$$l_1^+ = \frac{L_{\text{ip}}}{2}. \quad (4)$$

Загальна ситуація траєкторій у такому випадку, буде мати вигляд показаний на рис. 2.

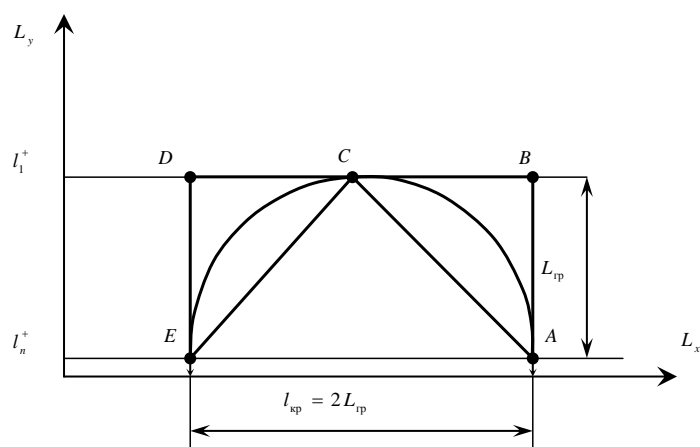


Рис. 2. Загальний випадок кроку вимірювання зі зміною швидкості відходу від деталі з коефіцієнтом  $k_i = 2$ : A, B, C, D, E - точки реверсу руху інструменту

Проаналізуємо довжину траєкторії руху при кожному способі руху.

При прямокутному способі руху інструмент долає шлях:

$$l_{\Pi} = AB + BD + DE = 4L_{\text{ip}}, \quad (5)$$

при трикутному:

$$L_{\Delta} = AC + CE = \sqrt{2} \cdot L_{\text{ip}}, \quad (6)$$

при коловому:

$$L_{\circ} = \overset{\cup}{ACE} = \pi L_{\text{ip}}. \quad (7)$$

Продовжимо подальше зменшення відстані відходу інструменту від поверхні деталі. Розглянемо випадок, коли коефіцієнт швидкості  $k_i = 4$  (рис. 3).

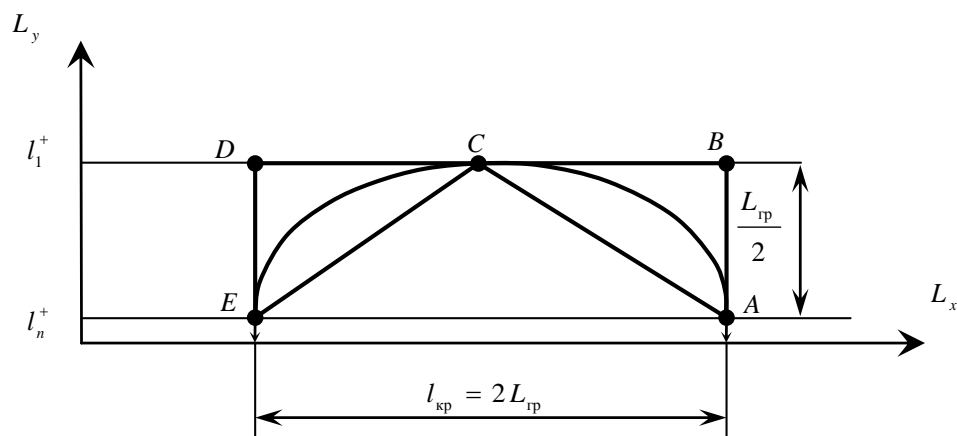


Рис. 3. Загальний випадок кроку вимірювання зі зміною швидкості відходу від деталі з коефіцієнтом  $k_i = 4$ : A, B, C, D, E - точки реверсу руху інструменту

Для цього випадку отримуємо такі залежності: при прямокутному способі руху

$$l_{\Pi} = AB + BD + DE = 3L_{\text{тр}}, \quad (8)$$

при трикутному способі руху

$$L_{\Delta} = AC + CE = \sqrt{5} \cdot L_{\text{тр}}, \quad (9)$$

при еліпсоїдальному способі руху

$$L_{\cup} = ACE = \frac{3}{4} \pi L_{\text{тр}} \left( 1 + \frac{\lambda^2}{4} + \frac{\lambda^4}{64} + \frac{\lambda^6}{256} + \frac{\lambda^8}{16384} + \dots \right) \approx$$

$$\approx \frac{7}{8} \pi L_{\text{тр}} \approx \frac{3}{4} \pi L_{\text{тр}} \frac{64 - 3\lambda^4}{64 - 16\lambda^2}, \quad (10)$$

де  $\lambda = \frac{3}{5}$ .

Результати дослідження показують, що скорочення відстані відходу від поверхні деталі призводить до зменшення кількості зайвих рухів інструменту в робочому просторі. Якщо досліджувати межу такого зменшення, необхідно констатувати, що мінімальна відстань відходу повинна дорівнювати  $l_n^+$ , тобто довжина ділянок траєкторії AB та DE у всіх варіантах повинна дорівнювати нулю. Відстань  $l_n^+$  є мала за симетричного руху вимірювання оскільки перебуває у межах поля допуску деталі, а це небезпечно щодо перегонів з однієї точки вимірювання до іншої, оскільки на цій відстані може відбутися нештатне торкання поверхні деталі. Звідси випливає ще одне зауваження: для деталі складної конфігурації цей спосіб руху неприйнятний. Крім того, такі способи руху, як еліпсоїдальний та трапецеїдальний з його трикутним різновидом втрачають сенс за означених скорочень.

Підсумкові результати порівняльних досліджень наведені у таблиці.

**Результати порівняльного аналізу різних варіантів вимірювального кроку**

Спосіб руху	Довжина шляху руху інструменту	Особливості програмування CNC	Максимальний відхід від поверхні деталі	Особливості застосування
Прямокутний	$6L_{аб}$	Просте програмування стандартних рухів	$2L_{аб}$	Лінійне вимірювання з незначними відхиленнями форми
Прямокутний вироджений	$2L_{аб}$	Найпростіше програмування стандартних рухів	$l_n^+$	Лінійне вимірювання в межах поля допуску
Трапецеїдальний	$2\sqrt{5}L_{аб} + l_{аб}$	Ускладнене програмування за рахунок рухів по трикутнику	$2L_{аб}$	Лінійне вимірювання з значними відхиленнями форми
Вироджений трапецеїдальний трикутний	$2\sqrt{5}L_{аб}$		$2L_{аб}$	Лінійне вимірювання при переході з однієї поверхні до другої
Еліпсоїдальний	$\approx 1,37\pi L_{аб}$	Дуже складна програма розрахунку руху по еліптичній траєкторії	$2L_{аб}$	Лінійне вимірювання зі значними відхиленнями форми
Вироджений еліпсоїдальний півколовий	$\pi L_{аб}$	Просте програмування рухів	$L_{аб}$	

Таким чином, можна стверджувати, що для складних форм поверхні необхідно використовувати прямокутний або еліпсоїдальний крок. Трапецеїдальний може використовуватися лише в окремих випадках. Вироджений прямокутний крок, який використовує лише інформацію про величину  $l_n^+$  краще за все застосовувати для деталей чисто циліндричної форми без особливостей геометричної конфігурації.

**Література**

1. Скицюк В. І., Махмудов К. Г., Ключко Т. Р. Технологія ТОНТОР. – К.: Техніка, 1993. – 80 с.
2. 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.
3. Скицюк В. І., Діордіца І. М., Науменко В. І. Засади визначення відхилень форми перерізу деталей циліндричного типу. // Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. машинобудування. – 2005. – Вип. 45. – С. 126 – 131.
4. Скицюк В. І., Діордіца І. М., Науменко В. І. Вимірювання форми деталі за статичного розташування та лінійного детермінованого руху різального інструмента. // Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. приладобудування. – 2005. – Вип. 29. – С. 69 – 76.
5. Гаврилов А. Н. Точность производства в приборостроении и машиностроении. М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.

*Поступила 21.06.10*