

**Ф.В. НОВІКОВ**, д-р техн. наук, проф., ХНЕУ, Харків;  
**І.Є. ІВАНОВ**, канд. техн. наук, інж., ДВНЗ «ПДТУ», Маріуполь

## УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРУЖНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Запропонований теоретичний підхід до розрахунку й аналізу параметрів точності обробки з урахуванням пружних переміщень, що виникають у технологічній системі. На основі отриманих теоретичних результатів визначені умови реалізації максимально можливої продуктивності обробки для заданої точності оброблюваної поверхні. Дано практичні рекомендації з ефективного ведення процесу різання.

**Ключові слова:** пружні переміщення, технологічна система, механічна обробка, різальний інструмент.

**Вступ.** Підвищення точності механічної обробки є найбільш важливою умовою створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції. Незважаючи на велику кількість наукових праць [1–4], присвячених даному питанню, дотепер відсутнє достатньо повне фізико-математичне уявлення про закономірності формування параметрів точності обробки. Це пов'язане з тим, що для рішення завдань підвищення точності обробки використовуються традиційні експериментальні підходи до пошуку й усунення причин, які викликають похибки обробки. Разом з тим, отримані таким шляхом результати досліджень справедливі для конкретних умов обробки й не дозволяють одержати більш загальні рішення, які охоплюють широкі діапазони зміни параметрів режиму різання, характеристик різальних інструментів та інших умов обробки. Дані рішення можуть бути отримані на основі аналітичних досліджень закономірностей формування похибок обробки головним чином з урахуванням пружних переміщень, що виникають у технологічній системі. Для цього необхідно розробити математичну модель формування похибок обробки й на її основі встановити взаємозв'язок між параметрами точності обробки й пружними переміщеннями, які виникають у технологічній системі й впливають на характер формування похибок обробки. Знання цих взаємозв'язків дозволить науково обґрунтовано підійти до виявлення й реалізації умов підвищення точності й продуктивності обробки.

**Ціль роботи** – розробка теоретичного підходу до розрахунку й аналізу параметрів точності обробки з урахуванням пружних переміщень у технологічній системі.

**Основний зміст роботи.** У роботі [5] показано, що величина пружного переміщення  $y$ , що виникає в технологічній системі (рис. 1) в умовах багатопрохідного шліфування визначається залежністю:

$$y = y_{cm} \cdot (1 - \varepsilon^{-n}), \quad (1)$$

де  $y_{ст} = B_1 \cdot t$  – величина пружного переміщення при сталому в часі процесі шліфування, м;

$$B_1 = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{позд}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$$

– безрозмірний параметр;  $\sigma$  – умовна напруга різання, Н/м<sup>2</sup> (енергоємність обробки, Дж/м<sup>3</sup>);  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коефіцієнт шліфування;  $P_z, P_y$  – відповідно тангенціальна й радіальна складові сили різання, Н;  $c$  – жорсткість технологічної системи, Н/м;  $D_{дет}$  – діаметр оброблюваної деталі, м;  $S_{позд}$  – швидкість позовжньої подачі, м/с;  $t$  – номінальна глибина шліфування, м;  $V_{кр}$  – швидкість круга, м/с;  $\varepsilon = 1 + 1/B_1$  – уточнення на проходах;  $n$  – кількість проходів круга.

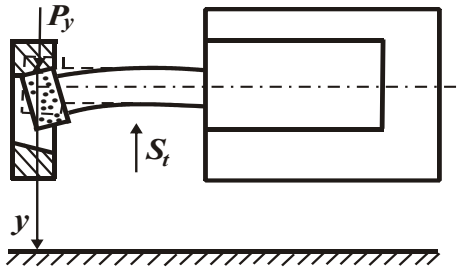


Рис. 1 – Розрахункова схема параметрів внутрішнього шліфування.

Після перетворень залежність (1) прийме вигляд:

$$y = B_1 \cdot t \cdot \left[ 1 - \frac{1}{(1 + 1/B_1)^n} \right]. \quad (2)$$

Очевидно, зі збільшенням кількості проходів круга  $n$  величина пружного переміщення  $y$  збільшується, асимптотично наближаючись до значення  $y_{ст}$ . Збільшення номінальної глибини шліфування  $t$  однозначно веде до збільшення величини пружного переміщення  $y$ , тоді як зі збільшенням безрозмірного параметра  $B_1$  величина  $y$  змінюється неоднозначно. Для кількісної оцінки величини  $y$  представимо в знаменнику залежності (2) безрозмірний параметр  $B_1$  і відповідно  $t$  у вигляді:  $B_1 = y_{ст} / t$ ;  $t = \Pi / n$ , де  $\Pi$  – величина припуску, що знімається, м. Тоді залежність (2) опишеться

$$\frac{y}{\Pi} = B_{1_{баз}} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + 1 / \left( B_{1_{баз}} \cdot n \right) \right)^n} \right], \quad (3)$$

де  $B_{1_{баз}} = (\sigma \cdot Q_{ном}) / (c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi)$  – базове значення безрозмірного параметра  $B_1$ ;  $Q_{ном} = \pi \cdot D_{дет} \cdot S_{позд} \cdot t$  – номінальна продуктивність обробки, м<sup>3</sup>/с.

У підсумку отримана залежність, відповідно до якої кількість проходів круга  $n$  неоднозначно впливає на величину пружного переміщення  $y$ .

Безрозмірний параметр  $B_{1_{\text{баз}}}$ , також як і безрозмірний параметр  $B_1$ , може змінюватися в широких межах:  $0 < B_{1_{\text{баз}}} < \infty$ . Тому розглянемо три принципово різних випадки: 1)  $0 < B_{1_{\text{баз}}} < 1$ ; 2)  $B_{1_{\text{баз}}} = 1$ ; 3)  $B_{1_{\text{баз}}} > 1$ .

У табл. 1 і на рис. 2 наведені розраховані по залежності (3) значення відносної величини  $y/\Pi$  залежно від  $n$  для різних значень  $B_{1_{\text{баз}}}$ .

Таблиця 1 Розраховані значення відносної величини  $y/\Pi$

$n$	1	2	3	4	5	6	7
для $B_{1_{\text{баз}}} = 0,1$	0,091	0,097	0,0987	0,099	0,09958	0,0997	0,0998
для $B_{1_{\text{баз}}} = 1$	0,5	0,555	0,57	0,59	0,598	0,603	0,607
для $B_{1_{\text{баз}}} = 10$	0,909	0,9297	0,9367	0,94	0,9427	0,9439	0,9446

Як видно, зі збільшенням  $n$  відносна величина  $y/\Pi$  залишається фактично постійною, зростаючи зі збільшенням значення  $B_{1_{\text{баз}}}$  (рис. 2).

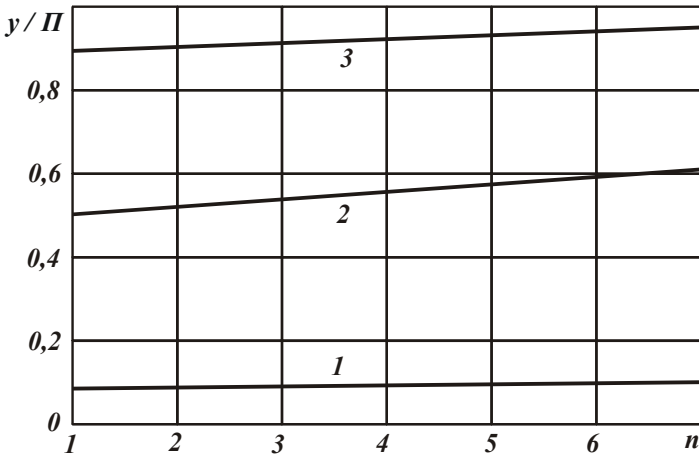


Рис. 2 – Залежність відносної величини  $y/\Pi$  від кількості проходів круга  $n$ :  
1 –  $B_{1_{\text{баз}}} = 0,1$ ; 2 –  $B_{1_{\text{баз}}} = 1$ ; 3 –  $B_{1_{\text{баз}}} = 10$ .

Із цього випливає, що збільшення кількості проходів круга  $n$  за умови сталості  $B_{1_{\text{баз}}}$  й номінальної продуктивності обробки  $Q_{\text{ном}}$  фактично не впливає на величину пружного переміщення  $y$ , що визначає похибку обробки. Отже, з однаковою ефективністю знімання припуску величиною  $\Pi$  можна здійснювати як за схемою однопрохідного, так і за схемою багатопрохідного шліфування. Тому схеми глибинного й багатопрохідного шліфування фактично рівносильні з погляду забезпечення точності й продуктивності обробки, тобто досягти заданого значення точності обробки, обумовленого

величиною пружного переміщення  $y$ , можна з однієї й тією ж продуктивністю обробки.

Очевидно, збільшення кількості проходів круга  $n$  призводить до збільшення допоміжного часу обробки, пов'язаного з реверсуванням стола верстата, і зниження продуктивності обробки. У зв'язку із цим доцільно знімання припуску виконувати за один або кілька проходів круга. Це дозволить зменшити допоміжний час обробки й збільшити продуктивність обробки.

Наведене теоретичне рішення справедливе й для процесу різання лезовим інструментом. Відмінною рисою процесу шліфування від процесу різання лезовим інструментом (наприклад, точіння) є те, що шліфування характеризується збільшеним значенням енергоємності обробки  $\sigma$ . Тому забезпечити необхідну точність обробки за один або кілька проходів шліфувального круга не завжди представляється можливим, тоді як при точінні це цілком здійснено. У зв'язку із цим, шліфування, як правило, здійснюється за схемою багатопрохідної обробки, безсумнівно, з меншою продуктивністю обробки в порівнянні із процесом точіння. Домогтися підвищення продуктивності обробки при шліфуванні можна головним чином за рахунок підвищення ріжучої здатності круга й зниження інтенсивності тертя в зоні різання шляхом забезпечення роботи круга в режимі самозагострювання. Це приводить також до зниження сили різання й енергоємності обробки.

Таким чином, різний рівень енергоємності обробки  $\sigma$  при точінні й шліфуванні визначає різні підходи до вибору кількості проходів інструменту  $n$ . При точінні, внаслідок відносно низької енергоємності обробки  $\sigma$ , можна знімання припуску за високими показниками продуктивності й точності обробки виконувати за один або кілька проходів різального інструменту. При шліфуванні, навпаки, внаслідок більш високих значень енергоємності обробки  $\sigma$  знімання припуску доцільно виконувати за схемою багатопрохідного шліфування.

Щоб визначити в явному виді продуктивність обробки, розв'яжемо залежність (2) відносно кількості проходів круга  $n$ :

$$n = \frac{\ln(1 - y/y_{cm})}{\ln(1 + 1/B_1)}, \quad (4)$$

де  $y_{cm} = (\sigma \cdot Q_{ном}) / (c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр})$ .

Основний час обробки  $\tau$  за  $n$  проходів круга визначиться так:

$$\tau = n \cdot \frac{L}{S_{нозд}}, \quad (5)$$

де  $L$  – довжина ходу стола верстата, м.

Швидкість поздовжньої подачі  $S_{нозд}$  визначається за залежністю

$$S_{нозд} = \frac{B_1 \cdot c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\pi \cdot D_{дем} \cdot \sigma}. \quad (6)$$

Підставляючи залежності (4) і (6) в (5), маємо

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{дем} \cdot L \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot B_1} \cdot \frac{\ln(1 - y/y_{cm})}{\ln(1 + 1/B_1)}. \quad (7)$$

Із залежності (7) випливає, що зменшити основний час обробки  $\tau$  й відповідно підвищити продуктивність обробки  $Q_{ном}$  можна зменшенням параметрів  $\sigma$ ,  $u_{ст}$  і збільшенням  $c$ ,  $K_{ш}$  і  $V_{кр}$  за умови забезпечення необхідної похибки обробки, обумовленої величиною пружного переміщення  $y$ .

**Висновки.** У роботі наведена математична модель формування параметрів точності обробки й обґрунтовані основні шляхи інтенсифікації процесів різання з урахуванням вимог по точності обробки. Встановлено, що при однопрохідному й багатопрохідному зніманні заданого припуску з однаковою номінальною продуктивністю обробки досягаються приблизно одні й ті самі показники точності й фактичної продуктивності обробки. Тому з метою підвищення точності оброблюваних поверхонь при шліфуванні слід використовувати багатопрохідну обробку, а при різанні лезовими інструментами – однопрохідну обробку. Це пов'язано з тим, що процес різання лезовими інструментами характеризується відносно невеликою енергоємністю обробки по відношенню до процесу шліфування.

**Список літератури:** 1. Маталін А.А. Технология машиностроения: Учебник / А.А. Маталін. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1985. – 496 с. 2. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: учебник / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; Под общ. ред. С.Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с. 3. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с. 4. Новиков Г.В. Роль упругих перемещений при механической обработке в исправлении погрешности формы заготовки / Г.В. Новиков. // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП». – 2005. – № 23. – С. 159-169. 5. Новиков Ф.В. Повышение эффективности механической обработки отверстий в деталях гидравлической аппаратуры / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский, И.А. Рябенков, В.С. Дерябин // Новые и нетрадиционные технологии в ресурс- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., 19-22 сентября 2011 г., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2011. – 156-159.

*Надійшла до редколегії 26.02.2013*

---

УДК 624.923

**Умови формування пружних переміщень у технологічній системі при механічній обробці / Ф. В. Новиков, І. С. Іванов** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – №5 (979). – С. 194-198. Бібліогр.: 5 назв.

Предложен теоретический подход к расчету и анализу параметров точности обработки с учетом упругих перемещений, возникающих в технологической системе. На основе полученных теоретических результатов определены условия реализации максимально возможной производительности обработки для заданной точности обрабатываемой поверхности. Даны практические рекомендации по эффективному ведению процесса резания.

**Ключевые слова:** упругие перемещения, технологическая система, механическая обработка, режущий инструмент.

The paper offers a theoretical approach to the calculation and analysis of the accuracy of processing parameters with the elastic displacements occurring in the technological system. On the basis of the theoretical results obtained implementing the conditions for the best possible performance for a given precision machining machined surface. Practical recommendations for the effective management of the cutting process.

**Key words:** elastic movements, technological system, machining, cutting tool.