

УДК 62-50:621.91:004.924

## Вплив на ефективність токарного оброблення на верстатах з ЧПУ зміною режимів різання

Л.М. Данилова, Н.Ю. Мельник  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

**Анотація.** В даному матеріалі представлено модель оптимізації формотворної траєкторії інструменту при токарному обробленні на верстатах з ЧПУ регулюванням швидкості різання  $V$  і глибини різання  $h$ . Чисельне моделювання процесу оброблення проведено на основі розрахунків. Було проведено моделювання кількох варіантів токарної операції з різними параметрами різання для оцінки залежності продуктивності процесу від зміни швидкості різання і глибини різання з урахуванням сили різання та стійкості інструменту.

Досліди показують, що вплив глибини різання на силу різання є суттєвим, тоді як вплив швидкості різання на неї мінімальний. Збільшення глибини різання і швидкості різання зменшують період стійкості інструменту, хоча вплив швидкості різання набагато сильніший. Збільшення глибини різання скорочує час оброблення, при цьому не так негативно впливаючи на стійкість інструменту. З іншого боку, підвищення швидкості різання скорочує час оброблення без збільшення значень компонентів сили різання та навантаження на шпиндель [1]. Оптимізація формотворної траєкторії дозволяє знайти найкраще рішення на основі критеріїв, що визначені користувачем, без перевищення граничних умов.

**Ключові слова:** швидкість різання, глибина різання, сила різання, ЧПУ.

У сучасній обробній промисловості домінуючу роль відіграють верстати з ЧПУ. Для автоматизованого виробництва широко використовується програмне забезпечення проектування формотворних траєкторій інструменту. Користувач має надати вихідні дані: 3D-модель деталі, основні параметри процесу, такі як швидкість різання, подача та глибина різання і геометричні параметри інструменту.

Вибір параметрів різання впливає на результат процесу оброблення у вигляді параметрів продуктивності, сил різання, потужності, якості поверхні або точності розмірів. Зазвичай користувач обирає параметри різання на основі особистого досвіду, довідкових даних, що не завжди дає задовільний результат, або на основі проведення серії експериментів, що вимагає додаткових витрат [2]. В даному матеріалі наведені результати дослідження, що проводились в середовищі Mastercam X9. В дослідженні було розглянуто вплив зміни глибини різання і подачі на час оброблення деталі і на стійкість інструменту в ході різання [3].

В якості заготовки обрана деталь діаметром 50 мм, що виготовлена зі Сталі 45 ГОСТ-1050-2013, а в якості різального інструменту обрана твердосплавна пластина для токарного різця CNMG120408. Режими різання що змінювались наводяться в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані дослідження

№ Досліду	Шв. різання $V$ , м/хв	К-ть проходів	Глибина різання $h$ , мм
1	150	2	1,5
2	220	2	1,5
3	150	1	3
4	220	1	3

По результатам дослідження найменша сила різання  $P = 1446$  Н спостерігається в Досліді №1, однак тут одержано найгірший показник часу оброблення, що становить 32 с.

В Досліді №2, збільшивши швидкість різання до 220 м/с отримано незначне зменшення сили різання до 1435 Н. Одночасно при цьому час оброблення зменшується на 27 % до 24 с.

В Дослідах №3 і №4 було досягнуто значного зменшення часу оброблення, що можна пояснити зменшенням числа робочих ходів. Загалом час оброблення зменшився на 56 % і 71 % в Дослідах №3 і 4 % відповідно. Однак, ціною за таку економію часу служить значне зростання сили різання, що становило 2818 Н і 2797 Н. В порівнянні з первинно обраними режимами різання в Досліді №1 сили вирости більш як на 93 %.

Такі суттєві зміни в швидкості різання та силі різання значним чином впливають на очікуваний час ефективної роботи інструменту. Під час проведення дослідження розрахунок робився за формулою Тейлора [1], яка враховує швидкість різання, подачу, глибину різання та коефіцієнти, залежні від умов оброблення. Формула має наступний вигляд:

$$T = \sqrt[n]{\frac{C}{s^{n_1} \cdot h^{n_2} \cdot v}}$$

де  $T$  – очікуваний період стійкості інструменту;  $C$  – константа, що залежить від матеріалу різця, матеріалу заготовки, умов різання та геометрії інструменту;  $s$  – подача;  $h$  – глибина різання;  $v$  – швидкість різання;  $n, n_1, n_2$  – показники ступеня, що залежать від матеріалу різця та заготовки. В ході проведення дослідів обрані були наступні значення [2]:

$$n = 0,30; n_1 = 0,31; n_2 = 0,13.$$

За результатами проведених обчислень було отримано наступні результати:

Таблиця 2

**Результати дослідження**

№ Досліді	Т <sub>0</sub> , с	Т, хв	Т%, %	Ндет
1	27	113,3	0,397	251
2	18	31,6	0,949	105
3	14	84	0,278	360
4	9	23,4	0,641	156

де  $T_0$  – основний час;  $T$  – період стійкості інструмента;  $T\%$  – відсоток використання ресурсу різця при обробленні однієї поверхні,  $N_{дет}$  – кількість деталей, що можна обробити одним різцем до того як його замінити. Бачимо, що в випадку Досліді №3 було одержано як вигреш у часі, так і збільшено ефективність використання інструменту. Максимальна кількість оброблених деталей зросла з 251 до 360.

Застосуємо описану модель для деталі діаметром 23 мм. Попередньо обрані режими різання, що відповідають рекомендаціям виробника інструменту візьмемо як дані для першого Досліді. Також для досліді збільшимо швидкість різання шляхом збільшення швидкості обертання шпинделя (Дослід №2), Зменшимо кількість проходів, шляхом збільшення глибини різання (Дослід №3) А також об’єднаємо ці дані для проведення ще одного досліді (Дослід №4). Швидкість різання збільшимо на 25 м/хв, а кількість проходів інструменту зменшимо на 2. Таким чином одержуємо наступні вихідні дані:

Таблиця 3

**Вихідні дані**

№ Досліді	Шв. різання $V$ , м/хв	К-ть проходів	Глибина різання $h$ , мм	$S$ , мм/об
1	163	3	0,5	0,25
2	188			
3	163	1	1,5	
4	188			

В ході проведення дослідження в вигляді симуляції в середовищі Mastercam, були одержані наступні результати:

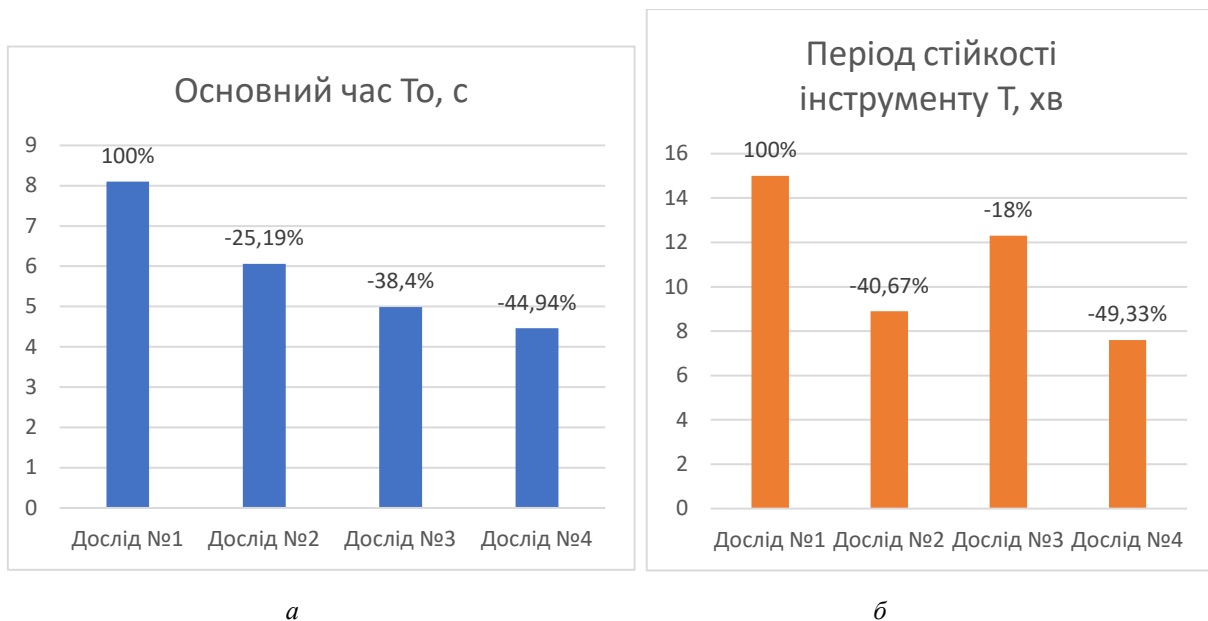
Таблиця 4

**Результати дослідження**

№ Дослідду	N, об/хв	To,с	Nдет	T,хв
1	3290	8,1	118	15
2	3400	6,06	94,4	8,9
3	3060	4,99	156	12,3
4	3370	4,46	109	7,6

Аналізуючи зміни в часі роботи (рис. 1) можна прийти до висновку, що в разі вибору будь-якого з нових запропонованих режимів різання в результаті буде вигрaш у часі. Найсильніше це прослідковується якщо ми збільшимо як глибину, так і швидкість різання, що ми зробили в Досліді №4, основний час, що становив 8,1 секунду зменшився аж на 44,9 % і становить 4,46 секунди на одну деталь [3].

Аналіз графіку зміни періоду стійкості інструменту (рис. 2) збігається з очікуваннями, що були попередньо наведені в початковому дослідженні [2]. Згідно з цим графіком, очікувано, що як результат найбільший період стійкості інструменту буде при його експлуатації згідно з рекомендаціями виробника, а саме з використанням режимів, наведених в Досліді №1.



**Рис. 1. Результат досліджень: а) графік зміни основного часу залежно від обраних параметрів; б) графік зміни стійкості інструменту залежно від обраних параметрів**

Однак, співставивши дані, можна побачити, що максимальну економічну ефективність можна досягти обравши режими різання, наведені в Досліді №3, тим самим збільшивши кількість деталей що оброблюються однією різальною пластиною на 32,2 %. Також цей варіант є більш прийнятним з точки зору швидкості оброблення, що дає нам вигрaш у вигляді зменшення основного часу на обробку даної поверхні на 38,4 %.

До недоліків представленого методу оптимізації можна віднести те, що не до кінця досліджено вплив зміни параметрів обраного режиму різання на шорсткість одержаної

поверхні, через що при виробництві пробної партії деталей слід буде ретельно перевірити результати проведення оброблення досліджуваної поверхні.

### Список літератури

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів: Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
2. Jarosz K., Löschner P., Niesłony P., The effect of changes in depth of cut and cutting speed of CNC toolpaths on turning process performance, [Archives of Mechanical Technology and Materials](#) 38(2018):40-44.
3. Мельник Н.Ю. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі “Кришка гідроциліндра”: дипломний проєкт. ... осв.проф.прог.тех.маш.: 131. – К., 2023. – 86 с.

## Influence changing cutting parameters on the efficiency cutting on CNC lathe

**L. Daniylova, N. Melnyk**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** This material presents a model for optimizing the tool's form-forming trajectory during turning on CNC machines by adjusting the cutting speed  $V$  and the cutting depth  $h$ . Numerical modelling of the processing process was carried out the basis of calculations. Several variants of the turning operation with variable cutting parameters were simulated to evaluate the performance of the process changes from cutting speed and depth of cut considering cutting force and tool stability.

Research shows that the effect of depth of cut on cutting force is significant, while the effect of cutting speed on it is minimal. Increasing the depth of cut and the cutting speed decrease the tool life, although the effect on the cutting speed is much stronger. Increasing the depth of cut reduces the processing time, while not adversely affecting the stability of the tool. On the other hand, increasing the cutting speed reduces the machining time without increasing the significance of the components of the cutting force and the load on the spindle. Optimizing the shape-forming trajectory allows you to find the best solution based on user-defined criteria without exceeding the boundary conditions.

**Keywords:** cutting speed, cutting depth, cutting force, CNC.