

УДК 621.941

DOI: 10.15587/2313-8416.2019.179035

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ РОЗЧИНОНАСОСІВ

С. В. Попов, А. В. Васильєв

Наведено результати наукового дослідження, пов'язаного із підвищенням ефективності токарної обробки гільз циліндрів розчинонасосів. Проведено літературний аналіз питання оптимізації точіння. Застосовано критерій проф. Ларіна. Він забезпечує найдовший шлях різання, найменші витрати різального інструмента під час обробки різанням партії виробів. В якості різального інструмента використовували збірний токарний прохідний різець, обладнаний непереточуваною пластинкою ромбічної форми з металокерамічного твердого сплаву T15K6

Ключові слова: розчинонасос, гільза циліндра, твердий сплав, критерій зношування, стійкість різця, шлях різання

Copyright © 2019, S. Popov, A. Vasyliiev.

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

1. Вступ

Під час виготовлення деталей витрати, пов'язані зі зношуванням різального інструменту, складають значну долю від загальних витрат на обробку цих деталей різанням, тому економія різців є досить актуальним завданням. Особливо це стосується обробки високолегованих сталей із зниженою оброблюваністю різанням [1].

Високолеговані нержавіючі сталі, такі як 40X13 (наприклад, виготовлення гільз циліндрів розчинонасосів), відносяться до матеріалів, які погано обробляються різанням, тому витрата різців при їх обточуванні буде значною, а ефективні заходи з економії різців дадуть можливість суттєво зменшити витрати на виготовлення деталей [2, 3].

2. Літературний огляд

Підвищенню ефективності процесу експлуатації різальних інструментів на токарних верстатах присвячено чимало наукових робіт.

У роботі [4] розглянуто проблеми пошуку оптимальних режимів різання для токарних операцій. Сформовані моделі та алгоритми рішення багатокритеріальних задач методами згортки критеріїв, послідовних поступок та «ідеальної точки».

У праці [5] використовується поняття стійкості різального інструмента, при якій забезпечується найбільша продуктивність верстата і стійкість різального

інструмента, при якій забезпечується найменша собівартість.

Розглядаючи стійкість інструмента як постійну величину для досягнення мінімального машинного часу автором [6] запропонована наступна послідовність процедури визначення режимів різання: вибір різального інструмента, призначення глибини різання, визначення подачі, визначення швидкості різання, що забезпечує найбільш вигідний період стійкості інструмента.

Швидкість різання значною мірою впливає на продуктивність процесу обробки різанням, тому під час обробки деталей варто застосовувати більш високі швидкості різання, але відомо також, що період стійкості різця T , тобто час його роботи у хвилинах між двома переточуваннями, суттєво залежить від швидкості різання. Для твердосплавних різців під час обробки сталей ця залежність при зростанні швидкості різання V проходить через максимум [7].

Крива $T=f(V)$, що подана на рис. 1, має екстремальну точку 2 з максимальним значенням стійкості T_{max} і точку 3 перегику цієї кривої.

Звичайно при точінні сталей твердосплавними різцями ліва гілка цієї кривої не використовується, оскільки це економічно недоцільно. На практиці різання сталей твердосплавними різцями ведеться зі швидкостями $V_2...V_5$, які забезпечують більш високу продуктивність обробки, менші витрати різального інструменту [8].

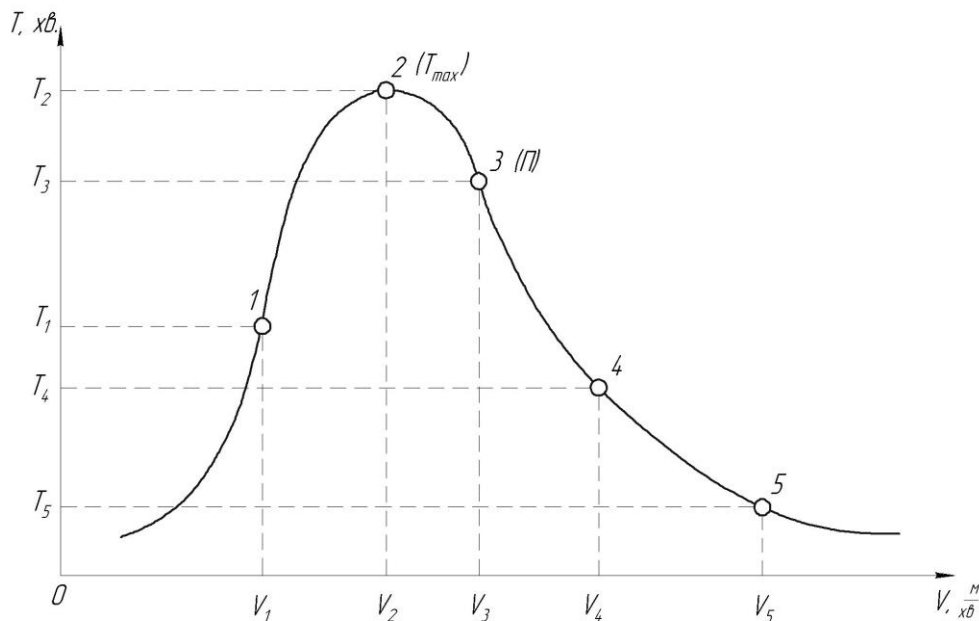


Рис. 1. Залежність періоду стійкості від швидкості різання

Для апроксимації графічної залежності $T=f(V)$ використовується рівняння такого виду

$$T = C_T \cdot V^a \cdot e^{-bV}, \tag{1}$$

де C_T - коефіцієнт; a - показник степеня при швидкості різання V ; b - коефіцієнт при V в показниковій функції.

Апроксимація результатів експериментальних даних при описі кривої полягає в пошуку числових значень параметрів C_T , a і b , які входять у цю криву.

Згідно з даними [9] для визначення вказаних параметрів найбільш зручно скласти три рівняння, використавши координати трьох довільно обраних точок кривої, що зображена на рис. 1. Були отримані наступні вирази:

$$a = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot V_2 - \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot V_3 + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot V_2 - \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot V_1}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1}; \tag{2}$$

$$b = \frac{\ln(V_3) \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_1) - \ln(V_2) \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - \ln(V_2) \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right)}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1}; \tag{3}$$

$$C_T = T_2 \cdot e^{\left(\frac{\ln(V_3) \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_2) \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot V_3 - \ln(V_2) \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot V_1}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1} \right)}. \tag{4}$$

Стійкість різців T у хвиликах, що виражена залежністю від швидкості різання, не повною мірою визначає площу обробленої поверхні, оскільки обробка різанням ведеться із різними швидкостями [10]. Для розрахунків найменшої витрати різців, по-

трібних для обробки різанням певної кількості деталей, краще використовувати стійкість різців, виражену не в одиницях часу у хвиликах, а в довжині шляху L , м, пройденого різцем у напрямку головного руху, де

$$L = V \cdot T. \tag{5}$$

Якщо замінити в рівнянні (5) стійкість T її значенням з рівняння (1), то можна отримати залежність довжини шляху L від швидкості різання V :

$$L = V \cdot C_T \cdot V^a \cdot e^{-bV} = C_T V^{a+1} \cdot e^{-bV}. \tag{6}$$

Права частина рівняння (6) відрізняється від правої частини рівняння (1) тільки тим, що показник ступеня при швидкості різання V збільшений на одиницю. У зв'язку з цим швидкість різання, яка відповідає максимальній стійкості різального інструменту, буде дорівнювати

$$V_{Lmax} = (a+1)/b. \tag{7}$$

Якщо порівняти величину V_{Lmax} зі швидкістю V_{Tmax} , то можна зробити висновок, що

$$V_{Lmax} > V_{Tmax}. \tag{8}$$

Звідси випливає те, що на спільному графіку залежності зносостійкості $T=f(V)$ і $L=f(V)$ остання крива буде зміщена відносно першої праворуч (рис. 2).

Оскільки доцільна обробка різанням повинна виконуватись у зоні швидкостей різання, які пе-

ревищують швидкість V_{Tmax} максимальної стійкості різця, більш обґрунтованим нижнім порогом зони швидкостей доцільної обробки різанням є швидкість V_{Lmax} , яка відповідає максимальному ресурсу різця L_{max} на кривій 2 (рис. 2).

На кривій 1, яка звичайно використовується для вибору оптимальної швидкості різання, максимальному ресурсу різця на довжині L шляху різання відповідає точка M . Величина цієї швидкості може бути розрахована за рівнянням (7).

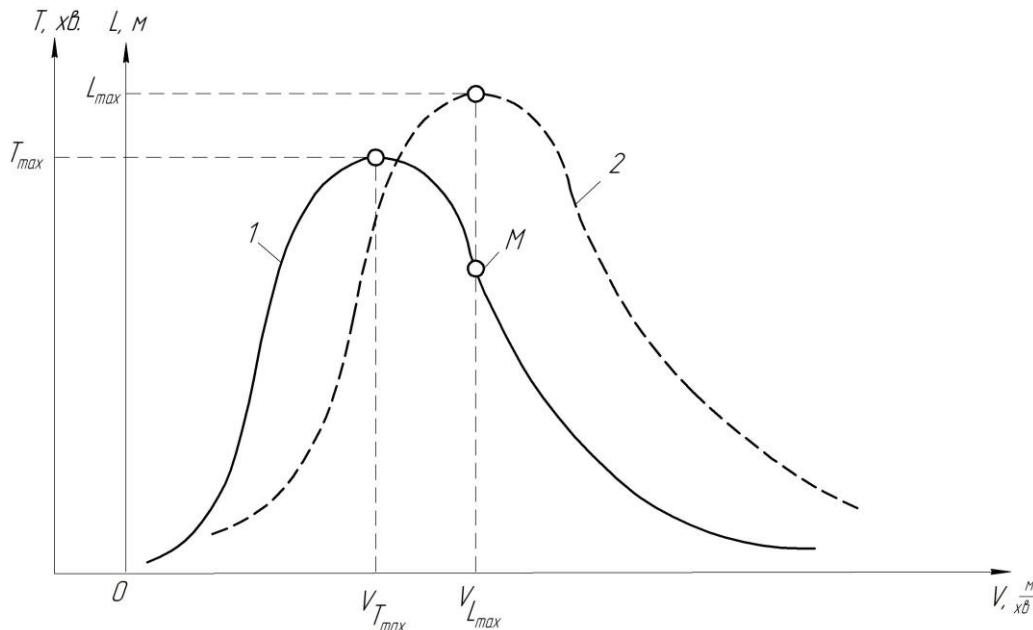


Рис. 2. Залежності періоду стійкості й шляху різання від швидкості

3. Мета та задачі дослідження

Мета експериментальних досліджень полягає в тому, щоб кількісно визначити вказані залежності під час обробки різанням сталі 40X при певних величинах глибини різання й подачі та, на основі цих даних, встановити такі значення швидкості різання й критерію зношування задньої поверхні різця, які забезпечують найдовший шлях різання за час повного ресурсу роботи цього інструмента.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

- використовуючи три значення швидкостей різання отримати залежності максимальної висоти площадки зношування по задній поверхні h_3 , мм, залежно від часу роботи різця, T , хв.; використовуючи три значення критерію зношування різця h_3 , за рівняннями (2)–(4) розрахувати коефіцієнти, що входять у склад формул (1) та (6);

- за допомогою ПЕОМ побудувати по формулах (1) та (6) графіки залежностей $T=f(V)$ й $L=f(V)$, по яких визначити швидкість різання, яка забезпечує найдовший шлях різання за період стійкості різця. При визначеній швидкості різання виконати експерименти для побудови кривої зношування різця $h_3=f(L)$;

- за методикою професора Ларіна з використанням точок кривої $h_3=f(L)$ побудувати графік $L_{заг}=f(h_3)$, де $L_{заг}$ – загальний шлях різця, м. Це дозволить нам визначити критерій $h_{3\text{ опт}}$ оптимального зношування різця, при якому сумарний ресурс роботи інструмента буде найбільший.

4. Матеріали і методи дослідження

Експерименти проводили при зовнішньому обточуванні заготовок з хромистої нержавіючої сталі 40X13 мартенситного класу при глибині різання $t=0,5$ мм і подачі $S_0=0,1$ мм/об. В якості різального інструмента використовували збірний токарний прохідний різець, обладнаний непереточуваною пластинкою ромбічної форми з металокерамічного твердого сплаву T15K6. Непереточувана пластинка закріплювалася в корпусі різця з таким нахилом, що її передній кут складав $\gamma=25^\circ$, а головний задній кут – $\alpha=6^\circ$.

Обробка заготовок різанням виконувалася на токарному верстаті 16K20 без застосування змащувально-охолоджувальної рідини. За критерій зношування приймалася максимальна висота площадки зношування різця по задній поверхні $h_{3\text{ max}}$, мм, величину якої визначали через кожні три хвилини точіння за допомогою спеціального мікроскопа зі шкалою, який використовується при випробуваннях твердості металів за методом Брінеля.

Кожну криву зношування $h_{3\text{ max}}=f(T)$ будували по даних точіння при певній швидкості різання. Орієнтовно для проведення експериментів призначали три швидкості різання: $V_1=125$ м/хв, $V_2=175$ м/хв, $V_3=225$ м/хв. Виходячи з діаметрів заготовок розраховували для вказаних швидкостей різання числа обертів шпинделя верстата за формулою

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \quad (9)$$

де d – діаметр заготовки, мм;
 n – число обертів шпинделя, об/хв.

За формулою (9) визначили числа обертів шпинделя. За паспортними даними верстата 16K20 обрали такі числа обертів шпинделя: 313, 500 і 630 об/хв.

Оскільки в процесі обробки різанням діаметри заготовок поступово зменшувалися, для отримання реальної швидкості було необхідно зробити перерахунки. При цьому враховувалося, що діаметри заго-

товок змінювалися в таких межах: $d_1=115\dots103$ мм, $d_2=115\dots87$ мм, $d_3=103\dots71$ мм. Отримані внаслідок перерахунку середні швидкості різання мають такі значення:

$$V_1=107 \text{ м/хв}, V_2=158 \text{ м/хв}, V_3=172 \text{ м/хв}.$$

5. Результати дослідження та їх обговорення

Результати експериментів щодо визначення зношування різців залежно від швидкості різання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

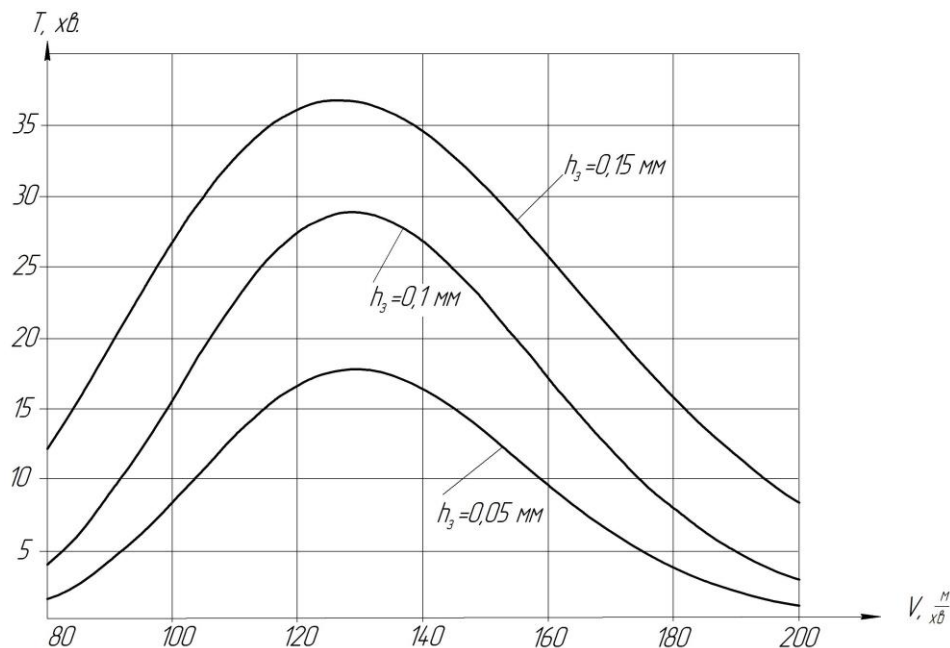
Зношування токарних різців залежно від швидкості різання

V=107 м/хв.											
T, хв.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h ₃ , мм	0,0	0,0	0,05	0,05	0,075	0,075	0,075	0,1	0,15	0,15	0,15
V=158 м/хв.											
T, хв.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h ₃ , мм	0,0	0,0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,11	0,15	0,15	0,15	0,2
V=172 м/хв.											
T, хв.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h ₃ , мм	0,0	0,05	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2	0,25

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що швидкість різання суттєво впливає на інтенсивність зношування різців. Чим більше швидкість різання, тим інтенсивніше зношується різець. Так, при швидкості різання 107 м/хв за 36 хвилин роботи висота площадки h_p складає близько 0,16 мм, у той же час при швидкості 158 м/хв площадка зношування вже дорівнює 0,2 мм, а при швидкості 172 м/хв – сягає 0,26 мм.

Використовуючи формули (2)–(4) та дані з табл. 1, за допомогою математичного пакету Maple отримуємо графічні залежності стійкості T та шляху різання L від швидкості різання V для різних критеріїв зношування різця (рис. 3–5).

Оптимальна швидкість різання для досягнення максимальної стійкості різця за часом роботи складає $V_{T \max}=129$ м/хв, а оптимальна швидкість, при якій досягається максимальний шлях різання, буде трохи більше і дорівнює $V_{L \max}=135$ м/хв.

Рис. 3. Залежність стійкості різця T від швидкості різання V при різних критеріях зношування різця h_3

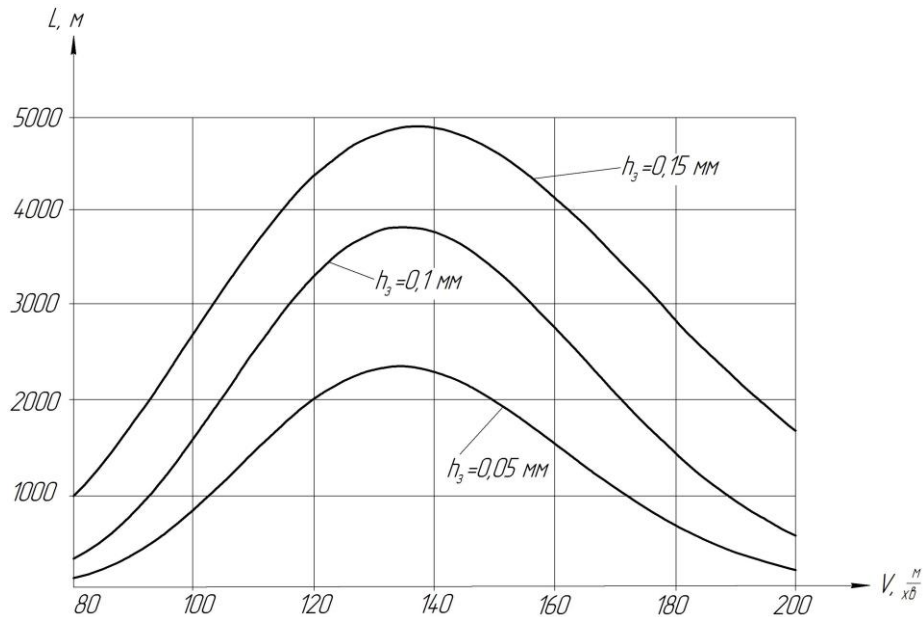


Рис. 4. Залежність шляху різання L від швидкості різання V при різних критеріях зношування різця h_3

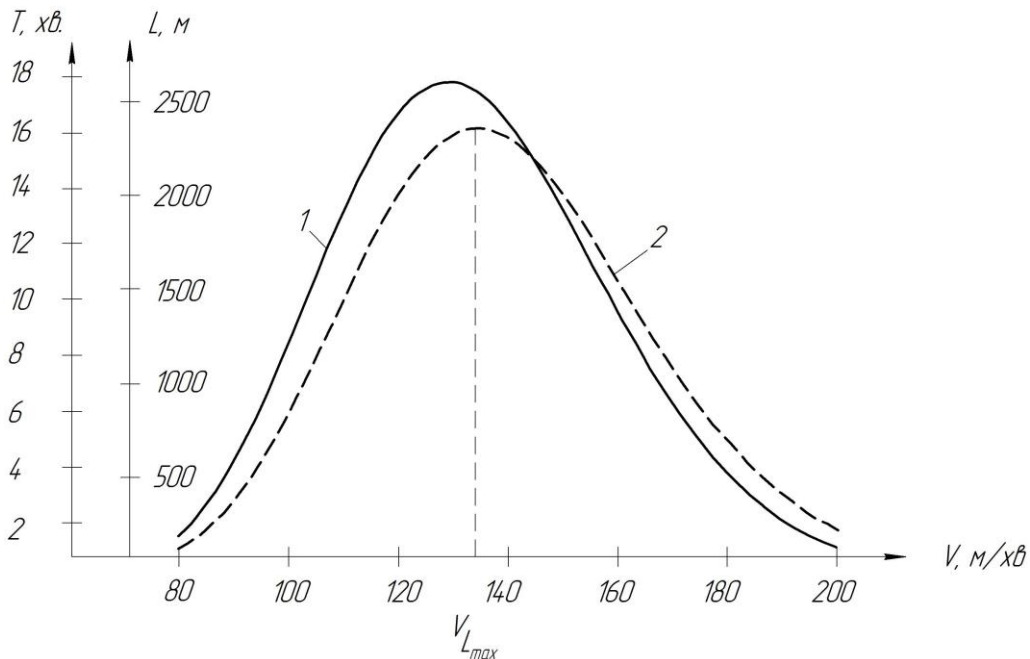


Рис. 5. Графіки залежностей стійкості T , хв, (1) та шляху L , м, (2) від швидкості різання V , м/хв

Сумарний ресурс роботи різця значною мірою залежить від періоду стійкості різця та обраного критерію його зношування, що наочно доказано в працях професора Ларіна. Для визначення оптимального критерію зношування різця, при якому забезпечується найдовший сумарний ресурс роботи інструмента, необхідно знати ряд точок залежності висоти площадки зношування h_3 від часу роботи різця. Такі дані можна отримати з кривої зношування різця. Оскільки нас цікавить не час роботи різця, а шлях різання, то криву зношування інструмента будемо в координатах $h_3 - L$. Для побудови цієї кривої обробку заготовки різанням виконували на швидкості, яка забезпечує максимальний шлях різання.

Крива зношування $h_3=f(L)$ наведена на рис. 6, з якого видно, що до висоти площадки зношування $h_3 = 0,175$ мм здійснюється нормальне зношування, при якому збільшення критерію зношування h_3 майже прямо пропорційне шляху різання L . При подальшому зростанні шляху різання відбувається прискорення зношування, про що свідчить більш швидкий підйом кривої вгору, тобто починається так зване катастрофічне зношування різця.

Визначаємо критерій $h_{3\text{ опт}}$ оптимального зношування різця, при якому сумарний ресурс роботи інструмента буде найбільший (рис. 7). Але цей ресурс розрахований не за часом роботи різця, а за шляхом різання під час усього строку його служби.

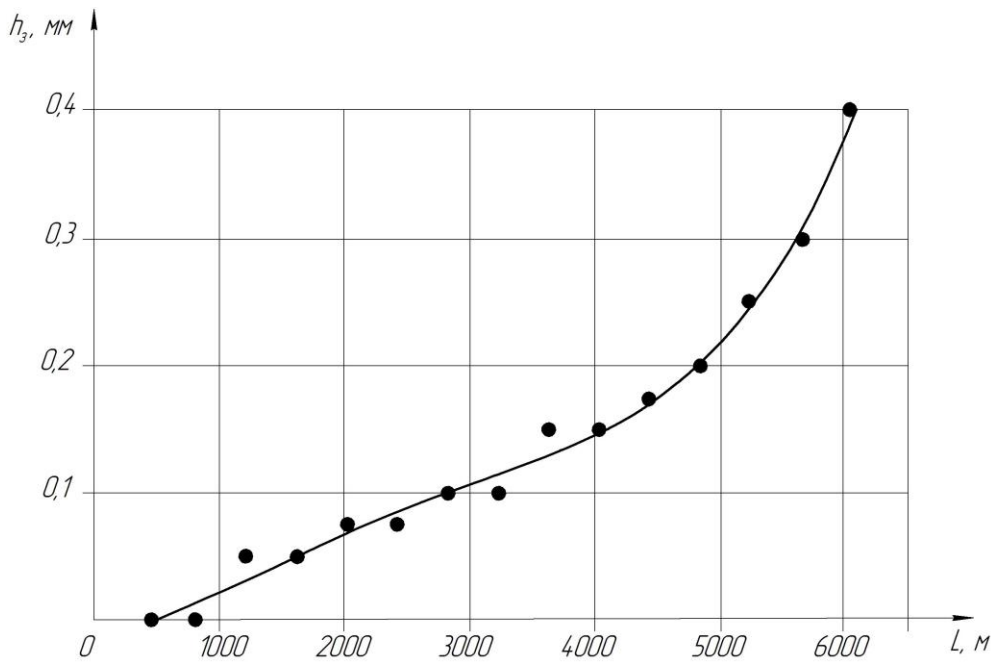


Рис. 6. Зношування різця при оптимальній швидкості різання

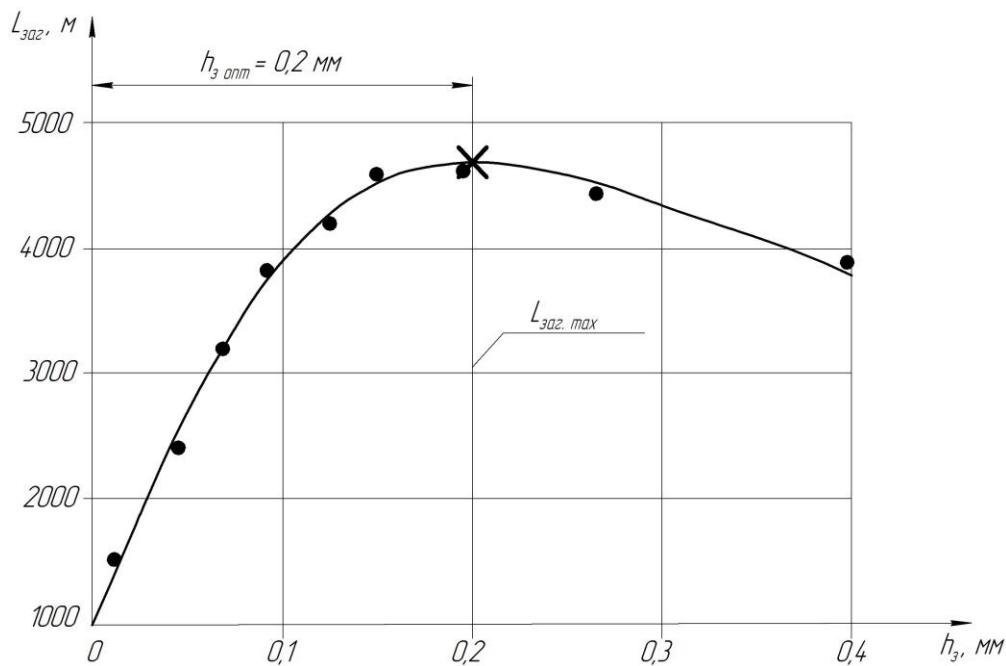


Рис. 7. Залежність шляху різання від величини переточування різця (за критерієм Ларіна)

Таким чином, щоб досягти максимальну ефективність обробки різанням заготовок зі сталі типу 40X13 твердосплавними різцями, тобто обробити найбільшу кількість деталей при найменшій витраті різців, необхідно вести обробку на оптимальній швидкості різання $V_{L \max} = 135$ м/хв до досягнення критерію зношування по задній поверхні різця $h_{3 \text{ опт}} = 0,2$ мм.

6. Висновки

1. Використовуючи значення швидкостей 107; 158; 172 м/хв отримали залежності висоти площадки зношування по задній поверхні h_3 , мм, залежно від часу роботи різця, T , хв. Швидкість різання суттєво впливає на інтенсивність зношування різців. Чим більше швидкість різання, тим інтенсивніше зношується різець. Так, при швидкості різання 107 м/хв за

36 хвилин роботи висота площадки h_p складає близько 0,16 мм, у той же час при швидкості 158 м/хв площадка зношування вже дорівнює 0,2 мм, а при швидкості 172 м/хв. – сягає 0,26 мм. На базі отриманих критеріїв зношування визначено коефіцієнти a , b та C_T .

2. За допомогою математичного пакету Maple і формул (1) та (6) побудували графіки залежностей $T=f(V)$ й $L=f(V)$. Оптимальна швидкість різання для досягнення максимальної стійкості різця за часом роботи складає $V_{T \max} = 129$ м/хв, а оптимальна швидкість, при якій досягається максимальний шлях різання, дорівнює $V_{L \max} = 135$ м/хв. Побудовано криву зношування різця $h_3=f(L)$.

3. Щоб досягти максимальної ефективності обробки різанням заготовок зі сталі 40X13 твердо-

сплавними різцями Т15К6, тобто обробити найбільшу кількість деталей при найменшій витраті різців, необхідно вести обробку на оптимальній шви-

дкості різання $V_{L,max}=135$ м/хв до досягнення критерію зношування по задній поверхні різця $h_{з,онт}=0,2$ мм.

Література

1. Попов, С. В., Васильєв, А. В., Карапузь, А. І. (2019). Оптимізація процесу точіння нержавіючої сталі мартенситного класу 40Х13 твердим сплавом Т15К6. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Чернігів: ЧНТУ, 83.
2. Kravchenko, S., Popov, S., Gnitko, S. (2016). The working pressure research of piston pump RN-3.8. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (83)), 15–20. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80626>
3. Popov, S., Vasilyev, A., Rymar, S. (2013). The designing of crank mechanism of piston pump. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (7 (61)), 30–32. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/9321>
4. Кроль, О. С. (2013). Методы и процедуры оптимизации режимов резания. Луганск: ВНУ, 260.
5. Ящерицын, П. И., Еременко, М. Л., Жигалко, М. И. (1981). Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Высшая школа, 560.
6. Ивченко, Т. Г. (2011). Использование метода геометрического программирования для расчета оптимальных режимов резания при точении. Научный вестник ДГМА, 2 (8 Е), 110–116.
7. Мазур, М. П., Внуков, Ю. М., Доброскок, В. Л. (2010). Основы теории резания материалов. Львів: Новий Світ – 2000, 422.
8. Буц, Б. Д., Приходько, В. Є., Ткачов, Ю. В. (2005). Розрахунок режимів різання металів. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 76.
9. Абрамов, Ф. Н., Коваленко, В. В. (1983). Справочник по обработке металлов резанием. Киев: Техника, 239.
10. Шальская, Е. Е., Ивченко, Т. Г. (2010). Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования. Прогрессивные технологии и системы машиностроения, 39, 91–97.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Фролов Є. А.

Received date 30.07.2019

Accepted date 19.08.2019

Published date 30.08.2019

Попов Станіслав Вячеславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра будівельних машин і обладнання, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011
E-mail: kaf054@i.ua

Васильєв Анатолій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра будівельних машин і обладнання, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011
E-mail: kaf054@i.ua