УДК 621.7

Пастернак С.М., аспірант,
Національний університет «Львівська політехніка, serhii.m.pasternak@lpnu.ua

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАГРІВУ НА СИЛУ РІЗАННЯ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ТИТАНУ TI-6AL-4V

В умовах сучасного машинобудування дедалі зростає потреба в обробці матеріалів, які характеризуються високими експлуатаційними властивостями, такими як міцність, термостійкість, корозійна стійкість та зносостійкість. Однак разом із цими перевагами вони мають й істотний недолік — складність механічної обробки, низька теплопровідність, висока міцність при високих температурах обробки та схильність до утворення адгезійних зносів. Все це призводять до швидкого зношення інструменту, зниження якості обробленої поверхні та зменшення продуктивності обробки.

Одним із перспективних напрямів удосконалення процесів обробки таких матеріалів є застосування гарячого точіння, тобто проведення різання з попереднім або супутнім нагрівом заготовки. Механізм дії такого підходу полягає у зниженні твердості та міцності матеріалу в зоні різання за рахунок термічного впливу, що у свою чергу, сприяє зменшенню сили різання, покращенню формування стружки та зменшенню зношення інструменту [1, 2].

При нагріванні металів відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на їхні механічні властивості. Одним із ключових факторів, що визначає зміну твердості при підвищенні температури, є ослаблення міжатомних зв’язків у кристалічній решітці. Також, підвищення температури активізує процеси дифузії, що впливає на рух дислокацій, розчинення карбідів та інших твердих фаз є ще одним важливим механізмом пом’якшення металу.

У машинобудуванні використовуються різні схеми реалізації технології точіння заготовок з попереднім нагріванням:

- полум'яне нагрівання (киснево-ацетиленове, киснево-зріджене полум'я)
- індукційне нагрівання
- плазмове нагрівання
- лазерне нагрівання
- електродугове нагрівання. [3, 4, 5]

Для дослідження було обрано нагрівання заготовки полум’ям. В якості дослідного зразка було використано титановий сплав марки Ti-6Al-4V

Експериментальна установка складається з наступних основних компонентів:

1. Токарний верстат – 1К62
2. Динамометр із тензодатчиками (FlexiForce40X) [6]
3. Пірометр
4. Паяльна лампа
5. Профілометр
6. Ріжучий інструмент
7. Заготовка – циліндричний зразок Ti-6Al-4V, діаметром 30 мм та довжиною 300 мм.

У ході експерименту заготовка нагрівалася до температур 300°C, 400°C, 500°C і 600°C. На кожному етапі проводилась механічна обробка певної ділянки матеріалу. Для підвищення точності вимірювань кожна температура тестувалася двічі: різець проходив по заготовці на різних відстанях, після чого обчислювалося середнє значення сили різання при відповідній температурі.

Оброблені зразки піддавалися додатковому аналізу шорсткості поверхні. Температура заготовки контролювалася лазерним пірометром. Силу різання реєстрували за допомогою динамометра, оснащеного тензодатчиками.

Параметри обробки
Швидкість різання (v) – 100 м/хв.
Глибина різання (a) – 0,5 мм.
Подача (f) – 0,1 мм/об.

Результати досліджень

Дослідження показали, що підвищення температури обробки сприяє суттєвому зменшенню сили різання. При збільшенні температури до 600°C сила різання F(x) зменшилась на 23%. Аналогічна тенденція спостерігається для сили різання F(y), яка зменшилася на 31% при максимальному нагріві. Це пояснюється зниженням твердості матеріалу в зоні різання, що полегшує процес формування стружки та зменшує навантаження на ріжучий інструмент.

Вплив температури на шорсткість поверхні

Дані дослідження свідчать, що підвищення температури позитивно впливає на якість обробленої поверхні. При збільшенні температури до 600°C параметр шорсткості Ra знизився з 2,1 мкм до 1,7 мкм, що відповідає покращенню на 31,25%.

Результати дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Попередній нагрів заготовки значно впливає на силу різання. При порівнянні значень сили різання для заготовок без нагріву та при нагріванні до температур 400°C, 500°C та 600°C було виявлено помітне зменшення зусиль. Це свідчить про те, що з підвищенням температури заготовка втрачає частину своєї твердості, а отже, інструменту легше прорізати матеріал.
2. Спостерігається зменшення зношування інструменту.
3. Поліпшується якість обробленої поверхні. При зростанні температури попереднього нагріву показник шорсткості Ra покращувався. Найкращі результати досягнуті при 600°C, що свідчить про кращу стабільність процесу формування поверхні, зменшення вібрацій та рівномірніше знімання шару матеріалу.

У підсумку можна зазначити, що попередній нагрів заготовки є ефективним технологічним рішенням, яке дозволяє оптимізувати процес обробки титанових сплавів, покращити кінцеву якість продукції та знизити експлуатаційні витрати.

Список посилань

1. H. A. Kishawy, end A. Hosseini, “Machining Difficult-to-Cut Materials”, Cham: Springer International Publishing, 2019.
2. H. Zheng and K. Liu, “Machinability of Engineering Materials”, in: A. Nee (eds), *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, Springer, London, 2013.
3. M. F. Ashby and D. R. H. Jones, “Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design”, 4th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2012. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096665-6.00001-5
4. Callister W. D., Rethwisch D. G. “Materials Science and Engineering: An Introduction”, 9th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.
5. D. R. Askeland, W. J. Wright, “The Science and Engineering of Materials”, 7th ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2015.
6. S. Pasternak, V. Stupnytskyy, «Analysis and development of a cutting force measurement system under pre-heating conditions of the workpiece», *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 2024. vol. 10, no. 4, pp. 70–78, 2025. URL: https://doi.org/10.23939/ujmems2024.04.070
7. P. Haasen, “Physical Metallurgy”, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
8. B. Maher, V. Wagner, G. Dessein, J Sallabery, and D. Lallement, “An Experimental Investigation of Hot Machining with Induction to Improve Ti-5553 Machinability”, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 62, pp. 67-76, 2011. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.62.67