

Дмитро Олександрович Пірогов¹, Борис Сергійович Воронцов²

¹аспірант механіко-машинобудівного інституту кафедри технології машинобудування,
Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: dimapirohov@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-6794-1127>. **Researcher ID:** [KMX-3810-2024](https://orcid.org/0009-0008-6794-1127)

²доктор технічних наук, професор механіко-машинобудівного інституту кафедри технології машинобудування,
Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: voronts@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1174-0971>. **Scopus Author ID:** [57219778103](https://orcid.org/0000-0003-1174-0971)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ Й СИЛУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ ЗАГОТОВОК ІЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ TI-6AL-4V

Через відсутність рекомендацій щодо оброблення заготовок отриманих методом xBeam 3D metal printing досліджено особливості точіння титанового сплаву TI-6AL-4V, а саме впливу збільшення швидкості різання на силу різання, температуру інструмента, локалізацію напружень на різальній кромці інструмента та утворення стружки під час різання із використанням пластини із карбід-вольфрамуму із застосуванням програмного середовища Third Wave AdvantEdge. Показано, що зі збільшенням швидкості різання зростає температура різання, сила різання залишається сталою по всій довжині оброблення, що підтверджує ефект термічного розм'якшення поверхні заготовки. Наведено графіки залежності температури й сил різання від довжини оброблення під впливом швидкості різання, фігури локалізації температур та напружень на вістрі ріжучого інструмента та форма утвореної стружки.

Ключові слова: точіння титанових сплавів; режими різання; вимірювання швидкості та температури різання; сила різання; стружкоутворення.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Сьогодні сучасна машинобудівна галузь розвивається швидкими темпами. Напрямок розвитку визначається завданням отримання високоякісних компонентів при мінімальній собівартості, мінімальній матеріаломісткості та максимальній продуктивності. Розробка таких технологічних процесів пов'язана з відповідним вибором і створенням більш досконалого технологічного обладнання, механізацією та автоматизацією виробництва, техніко-економічними обґрунтуваннями та проектно-конструкторськими роботами. При цьому завдання полягає в тому, щоб мінімізувати час, необхідний для побудови та впровадження технологічних процесів, і таким чином прискорити використання нового обладнання на етапі виробництва продукції. Одним із таких прогресивних методів, є адитивне виробництво, а саме технологія xBeam 3D metal printing, яка дозволяє отримувати заготовки максимально наближені до готової деталі із використанням титанового дроту та сплавів на його основі, які мають сприятливі фізико-механічні характеристики для експлуатації заготовок та деталей в умовах значного навантаження. Висока міцність та корозійна стійкість, малий коефіцієнт теплового розширення, низька густина та висока питома міцність титанових сплавів, дозволяють значно продовжити термін служби деталі, підвищити її надійність та уникати серйозного зносу всіх складових готового виробу. Однак разом із високими та сприятливими фізико-механічними властивостями, титанові сплави мають певні негативні характеристики, які обумовлюють технологічні проблеми оброблення заготовок різанням, що відкриває нові виклики для інженерів-технологів. Серед яких, розроблення методів та стратегій для ефективного оброблення адитивних заготовок із титанових сплавів на основі варіювання складових режиму різання. Адже будь-яка заготовка отримана за технологією адитивного виробництва потребує кінцевого оброблення, оскільки поверхня деталі або заготовки може не задовольняти конструкторські вимоги на кресленні.

Постановка проблеми. Токарне оброблення титану є надзвичайно складним процесом через фізико-механічні властивості матеріалу. Проблематика виникає при процесі різання заготовок із металевого дроту, отриманих адитивним методом, оскільки фізико-механічні властивості заготовки надрукованої на 3D принтері, може значно відрізнятись від звичай-

ного титанового сплаву, отже процес різання, який характеризується високими температурами різання та тиску в зоні контакту інструмента і заготовки, обумовлює зношення ріжучого інструмента, як наслідок втрата геометричних параметрів ріжучої пластини, зростання сили різання і температури в зоні контакту, що також може бути джерелом утворення вібрацій. У свою чергу, це призводить до зниження продуктивності обробки та погіршення якості поверхні. Матеріал і форма пластини, геометрія ріжучого інструменту і середовище обробки мають значний вплив на продуктивність. Однак, через обмеження фундаментальних знань при обробленні заготовок отриманих адитивними технологіями, існує значна постійна потреба, у тому, щоб деталі піддавалися подальшій механічному обробленні. Тому пошук стратегій для заготовок отриманих за допомогою адитивних технологій та визначення оптимальних значень складових режимів різання, швидкості різання, глибини, швидкості подачі, а також визначення ефективного ріжучого інструменту, його конструкції, геометричних параметрів різальної частини інструменту, форми оброблюваної пластини та додаткових складових, у вигляді охолоджувальної рідини, а також умови оброблення, дозволять сформувати оптимальну стратегію для ефективного оброблення поверхонь виробів для відповідності точності розмірам і шорсткості поверхні, необхідній для еталонного виробу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження у сфері механічного оброблення титанового дроту та сплавів на його основі присвячена переважно обробленню титановому сплаву Ti6Al4V, а саме впливу умов різання на якість обробленої поверхні, сили різання, вібрації в системі, знос та стійкість різального інструменту та обладнання, також досліджуються основні проблеми при обробленні титанових сплавів, що ускладнює їх механічне оброблення, або чого слід уникати при процесі різання. Наводяться геометрія інструментів, а також описується вплив інструменту на результати оброблення.

Автори роботи [1] дослідили використання двох різних інструментальних пластин з однаковими умовами експлуатації, а саме вплив стискаючих напружень на заготовку, шорсткість поверхні, твердість та утворення стружки. Зразок оброблений пластиною із покриттям, має вищі стискаючі напруження, кращу шорсткість поверхні, а також має більш стабільний процес деформації стружки, ніж зразок оброблений пластиною без покриття. Твердість зразків не показала значних коливань.

Авторами роботи [2] було вивчено механізм зношування інструменту при обробленні сплавів Ti555.3 та Ti6Al4V. Проаналізовано змінні режиму різання, такі як сили різання, геометрія стружки та знос ріжучого інструмента. Встановлено кореляцію між механічними властивостями матеріалу, зносом інструмента та швидкостями різання. Досліджено, що при точіння сплаву Ti6Al4V утворюється захисний шар із налиплого матеріалу, а розмір шару зменшується зі збільшенням сили різання. При видаленні налиплого шару із зони різання, знос інструменту різко зростає.

У дослідження [3] розглянуто загальні проблеми та труднощі при обробленні титанового сплаву Ti6Al4V ELI. Була висвітлена закономірність між режимами різання та результатом оброблення. Виявлено, що високі діапазони температури різання призводять до погіршення оброблення та погіршення якості поверхні, до зниження точності розмірів і терміну служби ріжучого інструмента. Крім того, більш висока температура прискорює ефекти розм'якшення обробки й викликає зміни в мікроструктурі обробленої поверхні. Подача різання була домінуючим фактором для шорсткості поверхні. Швидкість різання є домінуючим фактором зносу інструменту. Зносом інструменту можна керувати, застосовуючи відповідні умови охолодження для кращої продуктивності різання. Висока сила різання, необхідна для різання твердого матеріалу. При високій температурі відбувається розм'якшення оброблюваного матеріалу, що знижує його міцність на зсув, що полегшує обробку, але водночас ця підвищена температура також прискорює знос інструменту і, як наслідок, погіршує якість поверхні. Виявлено, що висока швидкість різання з низькою швидкістю подачі є найбільш сприятливою комбінацією для сили різання.

Авторами [4; 5] також розглянуто основні проблеми при обробленні титанових сплавів в загальному значенні. Виявлено, що титанові сплави піддаються загартуванню із віком, що впливає на твердість, яка різко зростає, що ускладнює оброблення. Запропоноване використання тврдосплавних інструментів із покриттям Al, Si, Ti, N, які забезпечують вищу продуктивність і довший термін служби при швидкості різання до 60 м/хв. Для пластин зі швидкорізальної сталі рекомендується використовувати надвисокі швидкості різання, а також для найгіршого переривчастого різання.

Розроблена стратегія авторами [5] із використанням скінченно-елементної імітаційної моделі для дослідження впливу глибини різання і швидкості різання титанових сплавів, дозволило виявити поведінку між інструментом та заготовкою. Дослідження показало, що швидкість різання є найбільш впливовим параметром, що впливає на розподіл напружень. Збільшення глибини різання призводить до збільшення сили різання через більше знімання матеріалу й товщину стружки, що призводить до збільшення площі контакту. Дослідження підкреслює складну динаміку процесу обробки, де швидкість різання і глибина різання мають різний, а іноді і протилежний вплив на силу різання. Крива напружень стабілізується при більш високих швидкостях різання, що вказує на більш передбачуваний процес обробки. Зі збільшенням глибини різання, а також швидкості різання, збільшується тенденція до руйнування стружки, що своєю чергою руйнує поверхню ріжучого інструмента та погіршує шорсткість поверхні. Зазначається, що при глибині різання в 0,2 мм, суттєво зросла сила різання, при тому, якщо збільшувалась швидкість різання, сила різання зменшувалась. Виявлено, що стабільними швидкостями різання є 80 і 120 м/хв. Критичні точки в процесі різання виявлені при швидкості різання у 40 м/хв та глибині різання 0,05 мм.

Автори [7] вивчили вплив швидкості різання на силу різання, температуру, напруження в інструменті та форму стружки. Виявлено, що зі збільшенням швидкості різання, зростає температура різання, а також виявлено зони ймовірного кратерного зносу. Виявлено стан при якому зі збільшенням швидкості різання, зменшується сила різання, через термічне розм'якшення поверхні заготовки. Досліджено, що зі зменшення сили різання, зменшуються напруження на ріжучому інструменті. Стружка при високих швидкостях різання відривається, у той час як при низьких утворюється суцільна.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз досліджень показав, що результати досліджень формуються на основі варіювання складовими режиму різання, швидкістю, подачею та глибиною різання, а також геометричними параметрами інструменту та матеріалом ріжучої частини. Оброблення проводяться для титанового сплаву Ti6Al4V та його варіацій. Реалізація ефективної стратегії для токарного оброблення, все ще актуальна і значною мірою залежить від подальшого пошуку ефективних умов різання, особливо для заготовок отриманих із металевого дроту із використанням адитивних технологій, оскільки фізико-механічні властивості матеріалу, можуть значно відрізнятись для кожної окремої заготовки.

Метою статті є визначення впливу швидкості різання на температуру в процесі різання, силу різання, характер утворення напружень в інструменті та характер утворення стружки під час різання заготовки із титанового сплаву Ti6Al4V із використанням тврдосплавної ріжучої пластини із карбід вольфраму.

Виклад основного матеріалу. Титанові сплави дуже популярні в аерокосмічній, автомобільній, оборонній та біомедичній галузях завдяки своїй високій питомій міцності, легкій вазі, біосумісності та корозійній стійкості. Однак виробництво заготовок на основі титану є дуже дорогим порівняно з іншими конструкційними металами, такими як сталь і алюміній, і пов'язане з дуже великими витратами часу.

Тому були розроблені процеси адитивного виробництва, що дозволяють виготовляти металеві деталі, які важко піддаються механічній обробці, скорочуючи таким чином час на підготовку і втрати матеріалу, а також значно підвищуючи продуктивність. Технологія 3D-друку металів xBeam вирішує багато технічних та економічних проблем адитивного

виробництва. Використання профільованих електронних пучків як джерела нагріву, титанового дроту як основного матеріалу та спеціальних низьковольтних газорозрядних електронних гармат, що генерують електронні конічні порожнисті пучки, дозволяє виготовляти порожнини без високого проникнення в матеріал, рівномірно нагрівати матеріал, зберігати властивості та структуру титанового сплаву, зменшувати залишкові напруження та деформації, досягати швидкої кристалізації та охолодження [8].

Крім того, ця технологія мінімізує фінішні операції, забезпечуючи достатньо високі геометричні параметри виробу завдяки контрольованому нагріванню, високій продуктивності плавлення і подачі дроту з пошаровим нанесенням матеріалу. Дослідження показали, що час виготовлення готової деталі за цією технологією становить 130 хвилин, порівняно з 10-14 тижнями, які витрачають конкуренти, що використовують традиційне лиття для виробництва аналогічної деталі.

Таким чином, технологія дозволяє швидко й ефективно виготовляти заготовки з титанових сплавів зі збереженням задовільних механічних властивостей, міцності і пластичності, а витрата витратних матеріалів є високою, що дозволяє отримувати заготовки, максимально наближені до кінцевого продукту з мінімальними виробничими витратами [9].

Попри це, вирішення проблем різання залишається активним напрямком досліджень, оскільки отримані заготовки потребують подальшої обробки, щоб забезпечити виконання вимог до розмірів і шорсткості поверхні. Рекомендації щодо використання технології xBeam 3D в поєднанні з операціями різання відсутні, тому планується проведення досліджень та експериментів з режимами різання для досягнення заданої необхідної шорсткості та точності. Щоб уникнути помилок у подальших експериментах, слід звернути увагу на деякі характеристики обробки заготовок з титанових сплавів.

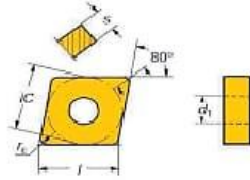
Процес різання широко використовується у виробництві для забезпечення як попереднього, так і остаточного оброблення заготовки для отримання кінцевої деталі. Тому досягнення гарної якості поверхні, є головною метою даного процесу. На сьогодні процес токарного оброблення досліджується із використанням методу скінченних елементів, який дозволяє дослідити складні проблеми та одержати кількісні рішення. Під час точіння металу, дослідження параметрів зносу інструменту, сил різання, температури в процесі різання є складним та коштовним. Тому метод скінченних елементів дозволяє передбачити необхідні результати на етапі проектування за допомогою вибору необхідних параметрів різання, матеріалу, ріжучого інструменту, що в перспективі запобігатиме зайвим матеріальним витратам, а також дозволить на етапі тестування отримати хорошу якість поверхні і скорегувати знос ріжучого інструменту варіюючи параметрами процесу різання.

Для моделювання процесу точіння використовується середовище Third Wave AdvantEdge та вихідні дані (табл. 1) для моделювання процесу. Як заготовку обрано титановий сплав Ti6Al4V, який є максимально наближений до металевого дроту, який використовується при виробництві заготовок за технологією xBeam 3D metal printing, ріжуча пластина та рекомендовані режими оброблення згідно з каталогом Sandvik Coromat [10].

Таблиця 1 – Вихідні параметри для моделювання процесу токарного оброблення

Параметри різання	Значення
1	2
Матеріал заготовки	Ti6Al4V
Матеріал ріжучої пластини	WC (Карбід вольфраму)
Форма пластини	C – квадратна
Задній кут, °	N (0°)
Клас точності	M
Конструктивні особливості	G
Рекомендовані каталожні режими різання для обраної пластини	
Базова пластина	CNMG 12 04 04 – G13
Швидкість різання, м/хв	45, 55, 65
Подача, мм/об	0,2

Закінчення табл. 1

1	2
Глибина різання, мм	1
Температура середовища, °С	20
Заготовка	
Довжина, мм	40
Висота, мм	20
Експериментальна довжина оброблення, мм	10
Форма пластини	

Джерело: розроблено авторами.

У процесі моделювання точіння при рекомендованих каталогом [10] режимах різання, було визначено розподіл температури (рис. 1, 2, 3). За допомогою аналізу в програмному забезпеченні Third Wave AdvantEdge, визначено, що зі збільшенням швидкості різання зростає температура, відповідно зростає швидкість деформації. Збільшення температури відбувається поступово в міру оброблення заготовки. Максимальна температура спостерігається в області контакту ріжучої пластини, ближче до вістря інструменту, де виникає ймовірність налипання стружки, і в результаті може відбуватись викришування або кратерний знос інструменту в області максимальної температури.

Сили різання, які виникали при процесі обчислення показані на рис. 1, 2, 3 згідно зі збільшенням швидкості різання. Зі збільшенням швидкості різання спостерігається зменшення сил різання, а також її нормалізація до сталих значень без пікових показників. Такий стан пов'язаний із високою температурою, що виникає на межі інструмент-стружка при високих швидкостях різання. Температура в процесі різання зростає, що викликає термічне розм'якшення поверхні заготовки, що своєю чергою знижує міцність матеріалу на зсув і полегшує процес оброблення.

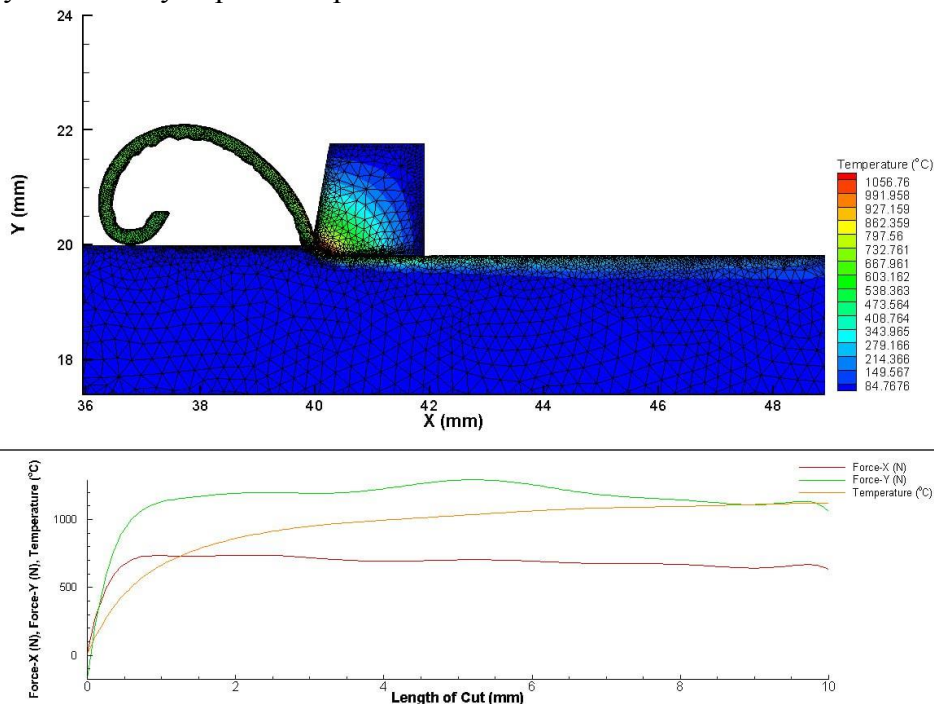


Рис. 1. Перша варіація оброблення для швидкості 45 м/хв, глибина 1 мм, подача 0,2 мм/об, без застосування мастильно-охолоджуючої рідини
Джерело: розроблено авторами.

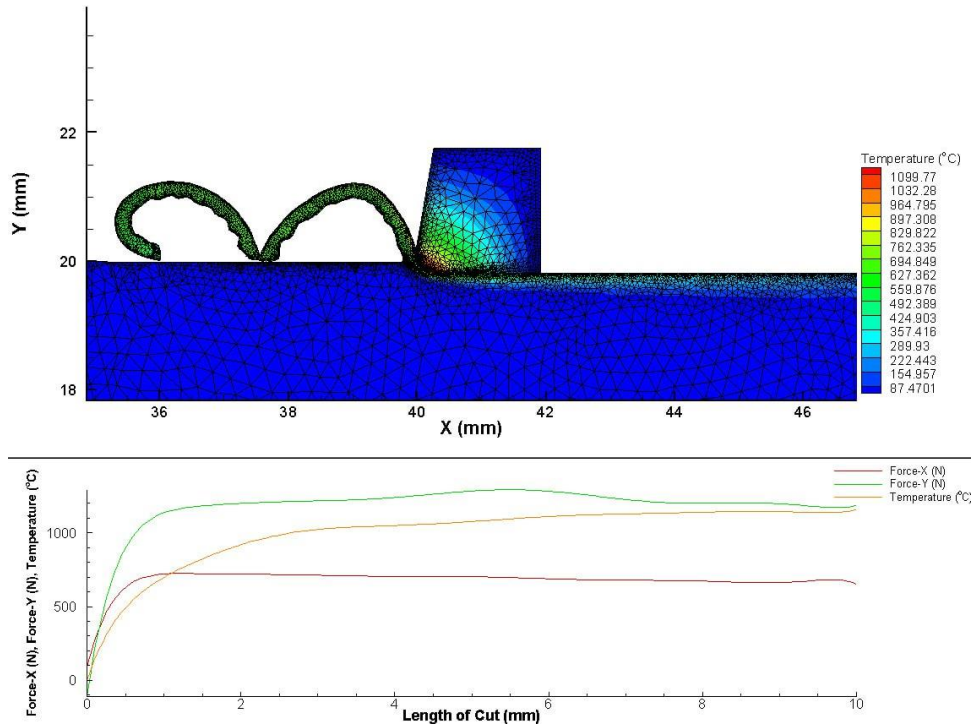


Рис. 2. Друга варіація оброблення для швидкості 55 м/хв, глибина 1 мм, подача 0,2 мм/об, без застосування мастильно-охолоджуючої рідини
Джерело: розроблено авторами.

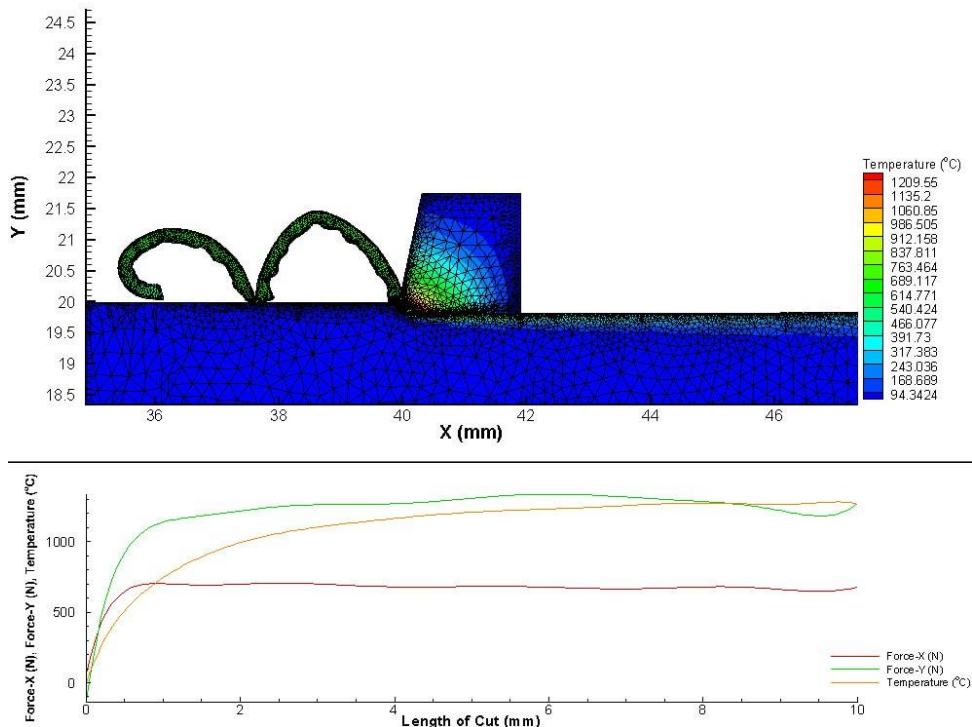


Рис. 3. Третя варіація оброблення для швидкості 65 м/хв, глибина 1 мм, подача 0,2 мм/об, без застосування мастильно-охолоджуючої рідини
Джерело: розроблено авторами.

Одним з основних факторів, який впливає на продуктивність ріжучого інструменту є вплив швидкості на температуру та напруження на вістрі ріжучого інструменту, які продемонстровано на рис. 4, 5 відповідно. Як показано на рис. 4, температура зростає зі

збільшенням швидкості різання, але характер і область нагрівання не змінюється. Підвищення температури призведе до термічного розм'якшення заготовки. Таким чином, стружка буде відокремлюватись від заготовки, і процес різання полегшиться.

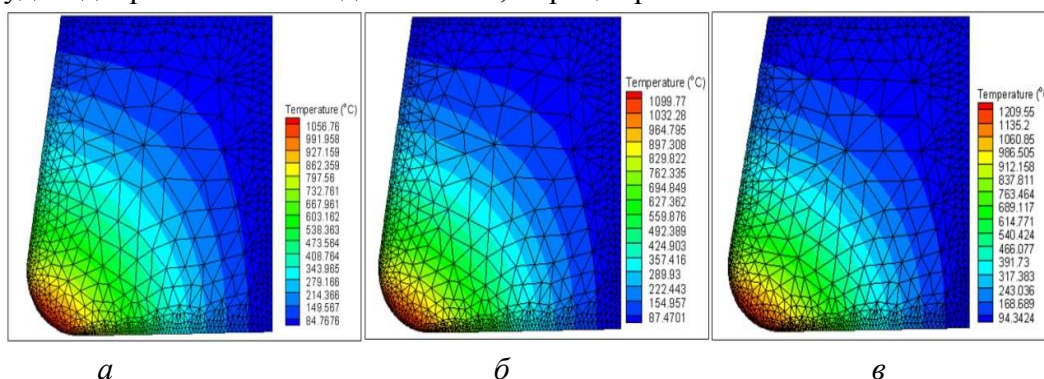


Рис. 4. Локалізація температури на вістрі ріжучого інструменту:

a – $V = 45$ м/хв; *б* – $V = 55$ м/хв; *в* – $V = 65$ м/хв

Джерело: розроблено авторами.

Напруження на ріжучому інструменті розташовані на передній поверхні пластини, вглиб на 1 мм від ріжучої кромки та їх зміна пов'язана зі збільшенням швидкості різання, чим більша швидкість різання, тим більші напруження виникають. Максимальні значення напруження не змінюються, але характер зсуву і їх зона зростає, що показано на рис. 5.

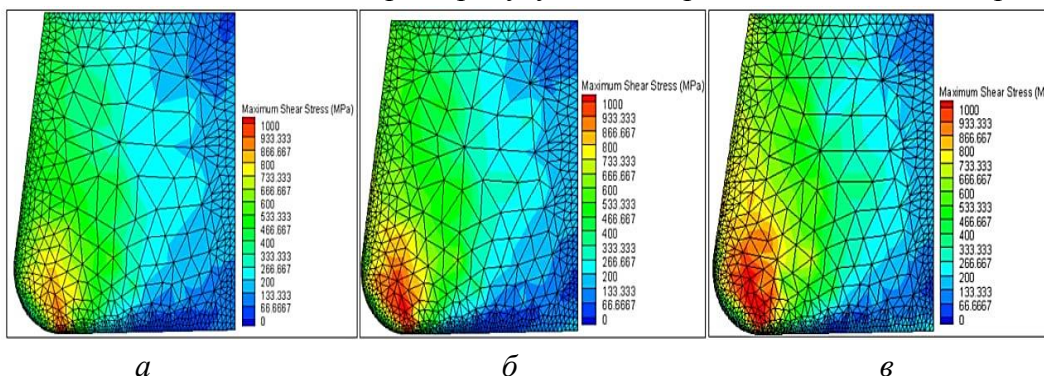


Рис. 5. Локалізація напружень на вістрі ріжучого інструменту.

a – $V = 45$ м/хв; *б* – $V = 55$ м/хв; *в* – $V = 65$ м/хв

Джерело: розроблено авторами.

Також, як було зазначено вище, зі збільшенням швидкості різання, відбувається збільшення температури, при цьому виникає ефект термічного розм'якшення заготовки. Таким чином, стружка починає відокремлюватися від заготовки, і виникає переривчаста стружка (рис. 6, б), що утворюється при вищих швидкостях різання та суцільна стружка при нижчих швидкостях різання. (рис. 6, а).

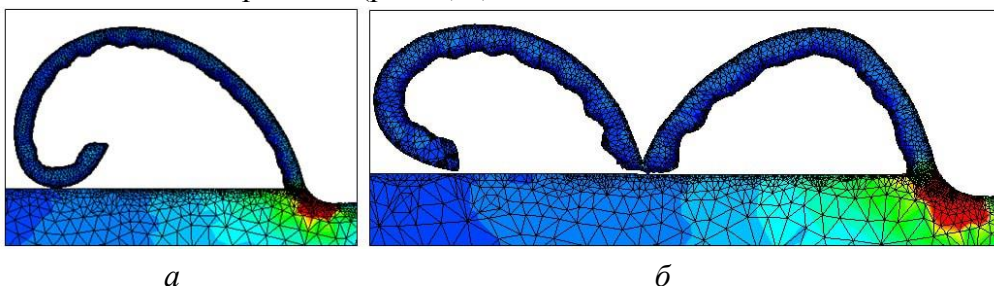


Рис. 6. Утворення стружки:

a – суцільна; *б* – переривчаста

Джерело: розроблено авторами.

Висновки. У цьому дослідженні проаналізовано та продемонстровано вплив швидкості різання на температуру в зоні різання, силу різання, характер утворення напружень на передній поверхні ріжучої пластини та характер утворення стружки. Виявлено, що зі збільшенням швидкості, зростає температура на ріжучій пластині. Найвища температура формується в зоні контакту ріжучої пластини із заготовкою, де є ймовірність виникнення налипання стружки і відриву її із формування кратера. Сила різання зі збільшенням швидкості різання, поступово стабілізується і зменшується, що пов'язано із термічним ефектом розм'якшення заготовки. Розподіл пікових значень напружень на передній поверхні ріжучої пластини збільшується вглиб інструменту. Досліджено, що суцільна стружка утворюється при низьких швидкостях різання, у той час як при високих швидкостях різання стружка відривається внаслідок вищих температур.

Отримані результати можуть бути корисними при подальших дослідженнях процесу різання і пошуку оптимального діапазону режимів різання, що дозволяють оцінити як знос різального інструменту, його передчасний вихід із ладу, так і ефективність процесу різання. Адекватне розуміння оброблюваності титанових сплавів має важливе значення для забезпечення ефективного оброблення.

Список використаних джерел

1. Machining of additively manufactured parts: implications for surface integrity / O. Oyelola, P. Crawforth, R. M'Saoubi, A. T. Clare // *Procedia Cirp*. – 2016. – Vol. 45. – Pp. 119-122.
2. Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555. 3) / P. J. Arrazola, A. Garay, L. M. Iriarte, M. Armendia, S. Marya, F. Le Maître // *Journal of materials processing technology*. – 2009. – Vol. 209(5). – Pp. 2223-2230.
3. Machining of Ti-6Al-4V ELI alloy: A brief review / S. Roy, K. K. Joshi, A. K. Sahoo, R. K. Das // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 390, № 1. – Pp. 012-112.
4. Machining of Titanium Alloys: A Review / Moaz H. Ali, Basim A. Khidhir, Bashir Mohamed, R. Balasubramanian, A.A. Oshkour // *Student Conference On Research And Development (SCORED 2011) 2nd November 2011, Administration Gallery, UNITEN*. – Vol. 204(12). DOI:10.1243/PIME_PROC_1990_204_047_02.
5. Machado, A. R. Machining of titanium and its alloys: a review / A. R. Machado, J. Wallbank // *Journal of Engineering Manufacture*. – 1990. – Vol. 204(1). – Pp. 53-60.
6. Pal, S. Finite element investigation of cutting speed effects on the machining of Ti6Al4V alloy / S. Pal, X. Velay, W. Saleem // *Discover Mechanical Engineering*. – 2024. – Vol. 3(1).
7. Gök, K. K. Finite element modeling as three dimensional of effect of cutting speed in turning process / K. K. Gök, A. Gök, M. B. Bilgin // *Journal of Engineering and Fundamentals*. – 2014. – Vol. 1(1). – Pp. 11-22.
8. New possibilities of additive manufacturing using xBeam 3D Metal Printing technology / D. V. Kovalchuk, V. I. Melnik, I. V. Melnik, B. A. Tugaj // *The Paton Welding J*. – 2017. – Vol. 12. – Pp. 16-22.
9. XBeam 3D Metal Printing technology on the path to industrial production / D. V. Kovalchuk, V. G. Melnik, I. V. Melnik, B. A. Tugaj // *Сучасна електрометалургія*. – 2020. – № 3. – С. 30-34.

References

1. Oyelola, O., Crawforth, P., M'Saoubi, R., & Clare, A. T. (2016). Machining of additively manufactured parts: implications for surface integrity. *Procedia Cirp*, 45, 119-122.
2. Arrazola, P. J., Garay, A., Iriarte, L. M., Armendia, M., Marya, S., & Le Maître, F. (2009). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555. 3). *Journal of materials processing technology*, 209(5), 2223-2230.
3. Roy, S., Joshi, K. K., Sahoo, A. K., & Das, R. K. (2018, July). Machining of Ti-6Al-4V ELI alloy: A brief review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 390, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.

4. Ali, Moaz H. & Khidhir, Basim & Mohamed, Bashir & Balasubramanian, R & Ataollahi Oshkour, Azim. (2011). Machining of Titanium Alloys: A Review. B Student Conference on Research and Development. *The Institution of Mechanical Engineers Part B-journal of Engineering Manufacture*.

5. Machado, A. R., & Wallbank, J. (1990). Machining of titanium and its alloys—a review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 204(1), 53-60.

6. Pal, S., Velay, X., & Saleem, W. (2024). Finite element investigation of cutting speed effects on the machining of Ti6Al4V alloy. *Discover Mechanical Engineering*, 3(1), 1.

7. Gök, K., Gök, A., & Bilgin, M. B. (2014). Finite element modeling as three dimensional of effect of cutting speed in turning process. *Journal of Engineering and Fundamentals*, 1(1), 11-22.

8. Kovalchuk, D. V., Melnik, V. I., Melnik, I. V., & Tugaj, B. A. (2017). New possibilities of additive manufacturing using xBeam 3D Metal Printing technology. *The Paton Welding J*, 12, 16-22.

9. Kovalchuk, D. V., Melnik, V. G., Melnik, I. V., & Tugai, B. A. (2020). XBeam 3D Metal Printing technology on the path to industrial production. *Suchasna elektrometalurhiia*, 2020(3), 30–34.

Отримано 02.06.2024

UDC 621.91.01

Dmytro Pirohov¹, Borys Vorontsov²

¹PhD student, Institute of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)
E-mail: dimapirohov@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-6794-1127>. **ResearcherID:** [KMX-3810-2024](https://orcid.org/0009-0008-6794-1127)

²Dr. Technical Science, Professor, Institute of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)
E-mail: vorontsov@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1174-0971>. **Scopus Author ID:** [57219778103](https://orcid.org/0000-0003-1174-0971)

INVESTIGATION THE INFLUENCE OF CUTTING SPEED ON CUTTING FORCES AND TEMPERATURE IN TURNING OF TITANIUM ALLOY TI-6AL-4V

xBeam 3D metal printing is the most modern method of additive technologies for obtaining blanks by using of titanium alloy Ti-6AL-4V metal wire as a base material. The lack of sufficient numbers of studies on the turning blanks obtained by additive technologies prompted the investigation of turning features in particular the influence of increasing cutting speed on the cutting forces, tool temperature, and stress localization on the cutting edge and chip formations by using Third Wave AdvantEdge for simulations.

In metal turning, the study of parameters such as tool wear, cutting forces and temperature during the cutting process is complex and expensive. Therefore, computer simulation can be used to predict the required results by selecting the right cutting parameters, materials and cutting tools during the design phase, thus avoiding unnecessary material costs in the future.

This article presents the results of a study using the AdvantEdge simulation. A square insert with a 0° back angle made of a cemented tungsten carbide (WC) was selected as the cutting tool. The cutting mode parameters were determined analytically using a catalogue. In this study, the feed rate and depth of cut were not changed, and the cutting speed was set in the range of 45 m/min, 55 m/min and 65 m/min. The feed rate was 0.2 mm/rev and the depth of cut was 1 mm. The machining length was 10 mm. Also, the paper contains graphs of cutting forces and tool temperature versus the length of cutting under the influence of increasing cutting speed. The results show that as the cutting force increases, the cutting temperature increases accordingly, but the cutting force remains unchanged and tends to stable values, which confirms the effect of workpiece softening, which facilitates material removal. The distribution of peak stress values on the front surface of the insert increases deeper into the tool. It was found that continuous chips are formed at low cutting speeds, while at high cutting speeds, chips are torn off due to higher temperatures.

The results obtained can be used to research of the cutting process and search for the optimal range of cutting modes, which allows evaluating the wear of the cutting tool, its premature failure, and the efficiency of the cutting process.

Keywords: turning, machining; Ti-6Al-4V; cutting speed; calculation of cutting force and tool temperature; cutting modes.

Fig.: 6. **Table:** 1. **References:** 9.