DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2022-23-8

УДК 621.91.01

Алтухов В. М., Руднєв Є. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ ПРИ РІЗАННІ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ТОЧІННЯ

У статті розглянуто особливості теплових явищ у зоні різання при обробці матеріалів, що важко обробляються. Дослідження проводилися на токарному верстаті при поздовжньому точінні. Ріжучий інструмент - різець з твердосплавними пластинками, що не переточуються. Матеріал інструменту – твердий сплав марок Т15К6, ВК6М. Оброблювані матеріали приймалися з різних груп по класифікації важкооброблюваних матеріалів. Хромомарганцевокремниста сталь 30ХГСА відноситься до I групи, нержавіюча сталь 12Х18Н10Т – до III групи, жароміцний нікелевий сплав ХН67МВТЮ – до V групи. Проаналізовано вплив температури різання на властивості оброблюваного та інструментального матеріалів. Складено план досліджень, розроблено схему вимірювання температури різання, проведено тарування термопари. Експерименти проводили без охолодження. Заміри проводилися за зміни швидкості різання, подачі, глибини різання. Проведено аналіз аналітичних залежностей температури різання від характеристик різання при однофакторному експерименті, які апроксимують експериментально отримані дані при механічній обробці матеріалів. З урахуванням розсіювання фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, та інших нестаціонарних елементів процесу різання, на кожній точці дослідження, що визначалися величинами швидкості різання, подачі на оборот, глибини різання, замір температури різання проводився три рази. Обробка результатів досліджень температури різання проводилася в координатах, відповідно, температура різання – швидкість різання, температура різання – подача на оборот, температура різання – глибина різання. Побудовано графіки, що показали вид кривої залежності температури різання від характеристик різання. Отримані результати дозволять підвищити ефективність процесу точіння при обробці матеріалів, що важко обробляються.

Ключові слова: *температура, швидкість різання, заготовка, сплав, знос.*

Актуальність дослідження. Одним з основних факторів, які впливають на процес обробки матеріалів різанням, є теплота. Теплоутворення впливає на процес різання багатогранно. Інтенсивне тепловиділення та висока температура полегшує деформацію шару оброблюваного матеріалу, що зрізується. У зв'язку з цим зменшується знос ріжучого інструменту і підвищується якість обробленої поверхні. При цьому висока температура, яка досягає 800-1000 ºС, призводить до прискореного зношування ріжучого інструменту, так як знижується його технічні характеристики і втрачаються ріжучі властивості. Нагрів ріжучого інструменту і оброблюваного матеріалу приводить до збільшування їх розмірів, від чого знижується точність обробки [1, 2].

Висока інтенсивність зносу ріжучого інструменту має місце при механічної обробці важкооброблюваних сталей та сплавів. Великою проблемою є вибір оптимальних та раціональних режимів точіння. Багато вітчизняних та зарубіжних наукових робітників займалися вивченням процесів обробки різанням. Механічної обробці присвячена значна кількість робіт, але складність процесу різання і наявність ймовірнісних чинників (властивості оброблюваного та інструментального матеріалу, температура різання, міцність, характеристики різання тощо) призводить до того, що дослідники обмежуються констатацією результатів досліджень та загальними рекомендаціями по оптимальності процесу. Зазвичай у публікаціях з питань вибору характеристик різання є рекомендації по вибору оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу, режимів різання, геометричних параметрів інструменту, мастильно-охолоджуючої рідини.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що оброблюваність важкооброблюваних сталей і сплавів низька [1]. Результати аналізу нормативно-довідкових джерел і технічної літератури свідчать про те, що на процес різання впливає значна кількість факторів, одним з найважливіших є температура різання [3]. Дослідження температури різання при механічної обробки важкооброблюваних сталей і сплавів, з метою визначення оптимальних умов обробки, є досить корисним. Тому дослідження в цій області є важливими як з наукової, так і з практичної точки зору. Підвищення ефективності процесу різання при обробці важкооброблюваних сталей і сплавів є важливою задачею технології машинобудування.

Постановка проблеми. Продуктивність металорізальних верстатів та собівартість деталей в машинобудуванні залежить від режимів різання і стійкості ріжучого інструменту. Відомо, що температура різання, що впливає на інтенсивність зносу інструменту, є функцією режимів різання. Виявлення оптимальних температур різання підвищить ефективність процесу різання важкооброблюваних сталей і сплавів.

Теоретичний аналіз дослідження. Результати раніше виконаних досліджень дозволяють вважати, що причини низької оброблюваності важкооброблюваних сталей і сплавів мають в основному загальну фізичну природу. Вивчення температури різання при механічній обробці важкооброблюваних сталей і сплавів твердосплавним інструментом дозволить глибше зрозуміти сутність процесів в зоні різання.

Мета статті. Проведення аналізу закономірності зміни температури різання для важкооброблюваних сталей і сплавів при різанні твердосплавним інструментом. Оптимізація температури різання, її залежність від режимів різання, підвищення довговічності і надійності інструменту. Кількісна оцінка температури різання при

обробці різанням важкооброблюваних матеріалів-представників за використовуваних значень величин швидкості різання, подачі, глибини різання.

Задачі дослідження. Теоретичні і експериментальні дослідження зношування твердого сплаву ВК6М при обробці сталей 30ХГСА, 12Х18Н10Т, жароміцного нікелевого сплаву ХН67МВТЮ. Проаналізувати чинники, які впливають на температуру різання. Визначити особливості зміни температури різання від швидкості різання, подачі, глибини різання.

Викладення основного матеріалу дослідження.

В результаті високого тиску, температури та швидкості відносного переміщення ріжучого інструменту та заготовки контактні поверхні інструменту в процесі різання зношуються.

Міцні властивості матеріалів дуже істотно залежать від температури (вплив навантаження, швидкості, числа циклів навантаження значно менше). Таким чином, у зоні досить великих швидкостей залежність сили тертя від температури тертя, що виникає, більш чітко характеризує процес тертя, ніж від швидкості.

Незважаючи на свою повноту, теорія тертя і зношування твердих тіл не може бути апріорно використана при аналізі тертя в зоні різання, так як при різанні є ряд особливостей, яких немає при звичайному терті. При різанні контактуючі поверхні інструменту та оброблюваної деталі знаходяться у важких умовах тертя та зносу. Для площадки контакту інструменту із заготівлею характерні малі габарити, досить висока ювенільність, нерівномірність розподілу робочих поверхонь інструменту. Якщо при звичайному терті можна говорити про притирання з часом обох поверхонь, то при різанні - тільки поверхонь ріжучого інструменту.

Зазначається [4], що в зоні досить великих швидкостей залежність сили тертя від температури тертя, що виникає, більш чітко характеризує процес тертя, ніж від швидкості, тому що зміна механічних властивостей від температури буває значнішою, ніж зміна їх від швидкості.

Коефіцієнт тертя як функція температури [5]:

$$f(\theta) = f_0\left[k_1 + \frac{k_2}{k_3 \cdot (\theta - \theta_m)^2 + 1}\right],$$

де f_0 – коефіцієнт тертя при температурі 20 ºС;

θ_m – температура, відповідна екстремальному значенню коефіцієнта тертя;

θ – поточна температура;

k_1, k_2, k_3 – константи.

У процесі різання металів близько 80 % роботи витрачається на пластичне і пружне деформування шару, що зрізується, і шару, прилеглого до обробленої поверхні і поверхні різання, і близько 20 % роботи – на подолання тертя по передній і задній поверхнях інструменту. Приблизно 85-90 % усієї роботи різання перетворюється на теплову енергію, кількість якої (в зоні різання) істотно впливає на зношування та стійкість інструменту, на шорсткість обробленої поверхні. Встановлено, що понад 70 % цієї теплоти уноситься стружкою, 15-20 % – поглинається інструментом, 5-10 % – деталлю і лише 1 % теплоти випромінюється в навколишній простір.

Температура в зоні різання залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, режимів різання, геометричних параметрів ріжучого інструменту та застосовуваної мастильно-охолоджуючої рідини.

Оскільки оброблюваність сталей і сплавів має в основному загальну фізичну природу, то класифікація важкооброблюваних сталей і сплавів [6] проведена по хімічному складу матеріалів. У пропонованій класифікації важкооброблювані сталі і сплави поділені на вісім груп. У кожній групі об'єднані сталі і сплави приблизно однакового хімічного складу. При цьому вони мають близькі механічні властивості і близьку оброблюваність різанням. Для кожної групи приведено вибір ріжучого інструменту, коефіцієнти для вибору швидкості різання. Наведені також рекомендовані швидкості різання. Слід зазначити, що пропоновані [4] коефіцієнти носять наближений характер і при обробці заданих важкооброблюваних сталей та сплавів можуть бути досить великі погрішності при визначенні режимів різання.

Отже, тепловими явищами при різанні необхідно керувати так, щоб теплота полегшувала різання і не знижувала стійкість інструменту і точність обробки

Вивчення температури різання проводилося за умов точіння на універсальному токарно-гвінторізному верстаті моделі 16К20.

Температура різання вимірювалася шляхом природної темпопари. Схема вимірювання температури різання зображено на рис. 1.

Оброблювана болванка 1 ізольована від патрона 2 та центру задньої бабки 3 текстолітовими прокладками 4 та пробкою 5. Твердосплавна пластинка 6 ізольована від державки різця текстолітовими прокладками 7. Електричне з'єднання з заготовкою, що обертається, здійснюється за допомогою щітки 8, ізольованої від задньої бабки текстолітової втулкою 9. Мілівольтметр 10 однією клемою з'єднаний через провідник 11 з твердосплавною. Замкнений електричний ланцюг складається з болванки – щітки – провідника – мілівольтметра – провідника – твердосплавної пластинки – болванки.

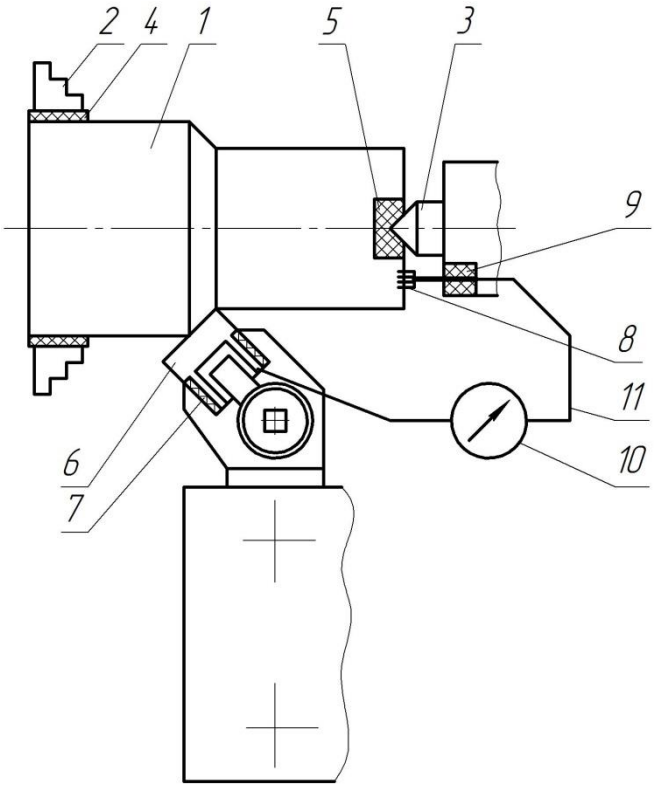

Рисунок 1 – Схема вимірювання температури різання:
1 – оброблена болванка; 2 – кулачковий патрон; 3 – центр задньої бабки; 4 – текстолітові прокладки; 5 – текстолітова пробка; 6 – твердосплавна пластинка; 7 – текстолітові прокладки; 8 – щітка; 9 – текстолітова втулка; 10 – мілівольтметр; 11 – провідник

Для перекладу показань мілівольтметра в градуси Цельсія термопари, що природно утворюються, попередньо піддавалися спеціальному таруванню. Схема тарування представлена на рис. 2. Для тарування використовувався пластинчастий нагрівник. Стрижень 1 з оброблюваного матеріалу і пластинку 2 з твердого сплаву з певною силою притискали до ніхромового нагрівача 3. До нагрівача приварені дві тонкі пластинки, що представляють собою розплющені кінці проводів з хромелю і алюмелю і утворюють контрольну термопару 4. Нагрів пластини 3 здійснювався змінним струмом через автотрансформатор 5, яким забезпечувалося регулювання температури нагрівання. Задаючи різну температуру нагрівання торців термопари, що тарується, порівнювали показання робочого мілівольтметра 6 з показаннями контрольного гальванометра 7 і будували тарировочный графік.

Тарувальні криві термопар оброблюваний матеріал – твердий сплав наведено на рис. 3.

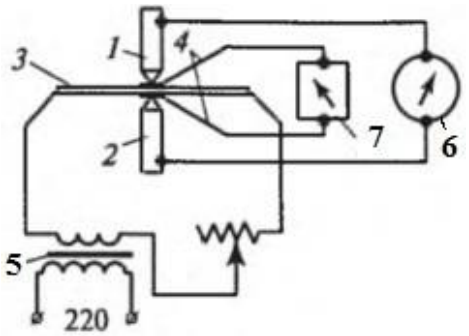

Рисунок 2 – Схема тарування термопари:
1 – стрижень з оброблюваного матеріалу; 2 – пластинка із твердого сплаву; 3 – ніхромовий нагрівач; 4 – контрольна термопара; 5 – автотрансформатор; 6 – мілівольтметр; 7 – гальванометр

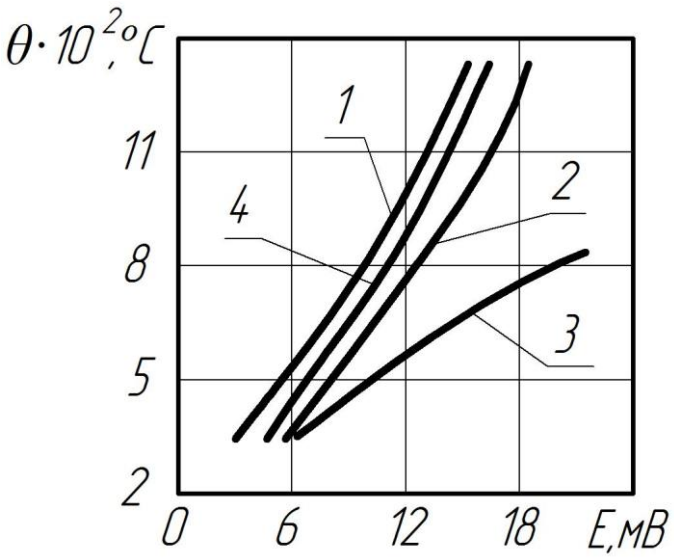

Рисунок 3 – Тарувальні криві термопар:
1 – 30ХГСА-Т15К6; 2 – 12Х18Н10Т-ВК6М; 3 – ХН67МВТЮ-ВК6М;
4 – сталь 45-Т15К6

Експерименти проводилися в такий спосіб. Змінювали значення технологічного параметра для різних умов обробки, в кожному випадку вимірювали температуру різання. Вимірювання температури проводили через 10 секунд після початку різання.

У зв'язку з наявністю розсіяння фізико-механічних властивостей оброблюваного і інструментального матеріалів і інших нестаціонарних елементів процесу зносу ріжучого інструменту, на кожній дослідній точці, визначуваній величинами: швидкості різання V, подачі на зворот S_o, глибини різання t, експеримент проводився три рази.

Підготовка експериментів по вивченню температури різання в умовах точіння починається з визначення діапазону варіювання характеристик різання: глибини різання t, подачі на оборот S_o, швидкості різання V.

Експериментальні дослідження за визначенням температури різання θ від швидкості різання V проводилися в умовах: подача на оборот S_o і глибина різання t приймалися постійними, без охолодження.

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від швидкості різання V при обробці сталі 30ХГСА ріжучим інструментом з твердого сплаву марки Т15К6. Подача на оборот S_o і глибина різання t приймалися постійними (S_o = 0,11 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 4.

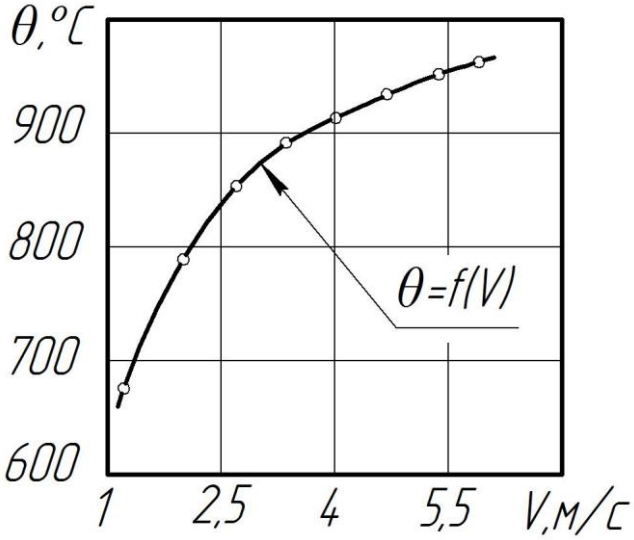

Рисунок 4 – Зміна температури різання θ при точінні сталі 30ХГСА ріжучим інструментом з твердого сплаву марки Т15К6 (S_o = 0,11 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження)

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від швидкості різання V при обробці сталі 12Х18Н10Т ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М. Подача на оборот S_o і глибина різання t приймалися постійними (S_o = 0,13 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 5.

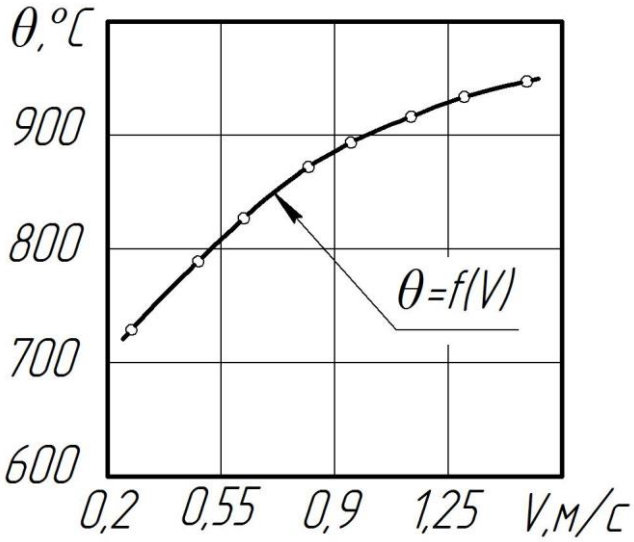

Рисунок 5 – Зміна температури різання θ при точінні сталі 12Х18Н10Т ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М (S_o = 0,13 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження)

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від швидкості різання V при обробці сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М. Подача на оборот S_o і глибина різання t приймалися постійними (S_o = 0,11 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 6.

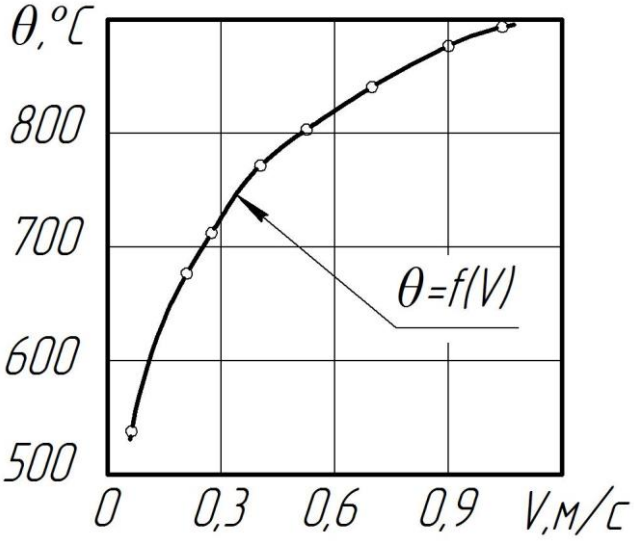

Рисунок 6 – Зміна температури різання θ при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М (S_o = 0,11 мм/об, t = 0,5 мм, без охолодження)

Експериментальні дослідження за визначенням температури різання θ від подачі на оборот S_o проводилися в умовах: швидкість різання V і глибина різання t приймалися постійними, без охолодження.

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від подачі на оборот S_o при обробці нікелевого сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М. Швидкість різання V і глибина різання t приймалися постійними (V = 0,2 м/с, t = 0,6 мм, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 7.

Експериментальні дослідження за визначенням температури різання θ від глибини різання t проводилися в умовах: подача на оборот S_o і швидкість різання V приймалися постійними, без охолодження.

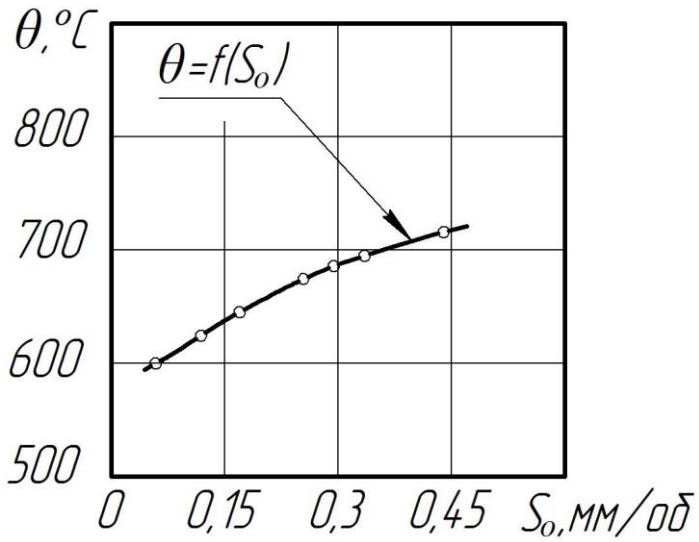

Рисунок 7 – Зміна температури різання θ при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М (V = 0,2 м/с, t = 0,6 мм, без охолодження)

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від глибини різання t при обробці сталі 12Х18Н10Т ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М. Подача на оборот S_o і швидкість різання V приймалися постійними (V = 1 м/с, S_o = 0,15 мм/об, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 8.

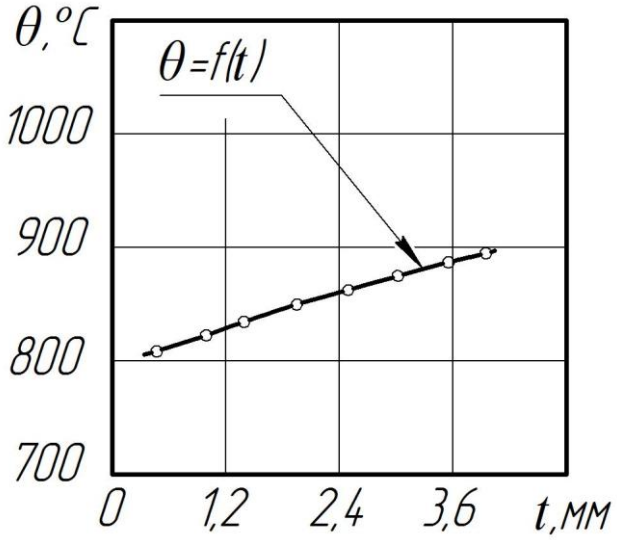

Рисунок 8 – Зміна температури різання θ при точінні сталі 12Х18Н10Т ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М (V = 1 м/с, S_o = 0,15 мм/об, без охолодження)

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності температури різання θ від глибини різання t при обробці нікелевого сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М. Подача на оборот S_o і швидкість різання V приймалися постійними (V = 0,3 м/с, S_o = 0,11 мм/об, без охолодження).

Результати досліджень наведені на рис. 9.

Потім аналізували зміну температури різання за різних комбінаціях режимів різання. З результатів експериментів видно, що з підвищенням швидкості різання зростає температура різання. При збільшенні подачі температура в зоні різання також підвищується, але менш інтенсивно, ніж збільшення швидкості різання. Глибина різання має найменший (порівняно зі швидкістю та подачею) вплив на температуру в зоні різання.

Аналізуючи вид залежності температури різання від швидкості різання для важкооброблюваних матеріалів 30ХГСА, 12Х18Н10Т, ХН67МВТЮ, можна відзначити, що крива має опуклий характер. При аналізі виду залежності температури різання від глибини різання для матеріалів 12Х18Н10Т і ХН67МВТЮ, можна відзначити, що вид кривий близький до прямої лінії.

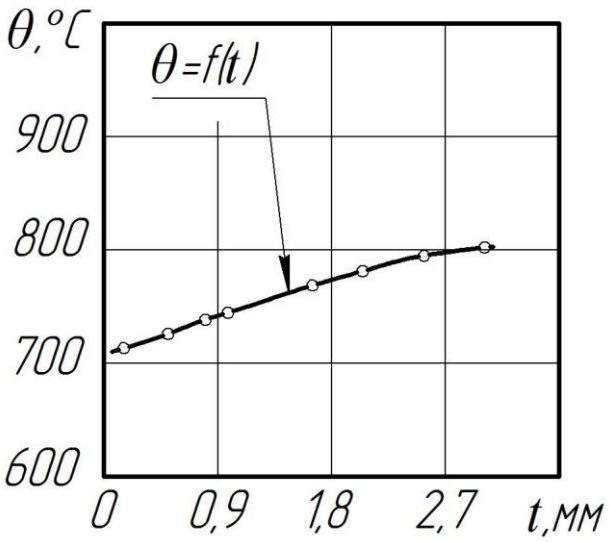

Рисунок 9 – Зміна температури різання θ при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М (V = 0,3 м/с, S_o = 0,11 мм/об, без охолодження)

Корисність проведених експериментів полягає в тому, що вони показують фактичне значення температури різання при певних режимах. Спираючись на отримані дані, можна зробити висновки про вплив досягнутих величин температури різання на властивості оброблюваного та інструментального матеріалів.

Висновки.

1. На підставі огляду літературних джерел показано, що невиясненими залишаються закономірності, характерні для теплових явищ при різанні важкооброблюваних матеріалів, що не дозволяє проводити обробку різанням на оптимальних режимах.

2. Встановлені закономірності зміни між температурою різання, швидкістю різання, подачею на оборот і глибиною різання в умовах точіння важкооброблюваних матеріалів: сталі 30ХГСА, сталі 12Х18Н10Т, сплаву ХН67МВТЮ. Ріжучий інструмент – твердий сплав.

3. Отримані результати можуть бути застосовані при виборі оптимальних режимів різання.

Література

1. Теорія різання. Лабораторний практикум / В. В. Зіль, В. А. Безрукава. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. – 66 с.
2. L. Slusarczyk. The implementation of a thermal imaging camera for testing the temperature of the cutting zone in turning, Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 100310L (28 September 2016); https://doi.org/10.1117/12.2249298.
3. M. Kowalczyk. Temperature distribution in the machining zone during precise turning of NiTi alloy. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108084U (1 October 2018); https://doi.org/10.1117/12.2501494.
4. Будник А. Ф., Юскаєв В. Б. Фізика та механіка трибо дизайну матеріалів. Суми: СумДУ, 2008. 203 с.
5. Крагельский И. В. Трение и износ в вакууме / Крагельский И. В., Любарский И. М., Гусляков А. А. и др. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
6. Гуревич Я. Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов / Гуревич Я. Л., Горохов М.В., Захаров В. И. и др. М.: Машиностроение, 1986. 241 с.

References

1. Teoriia rizannia. Laboratornyi praktykum / V. V. Zil, V. A. Bezrukava. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychyi universytet, 2012. – 66 s.
2. L. Slusarczyk. The implementation of a thermal imaging camera for testing the temperature of the cutting zone in turning, Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 100310L (28 September 2016); https://doi.org/10.1117/12.2249298.
3. M. Kowalczyk. Temperature distribution in the machining zone during precise turning of NiTi alloy. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108084U (1 October 2018); https://doi.org/10.1117/12.2501494.
4. Budnyk A. F., Yuskaiev V. B. Fizyka ta mekhanika trybo dyzainu materialiv. Sumy: SumDU, 2008. 203 s.
5. Kragelskii I. V. Trenie i iznos v vakuume / Kragelskii I. V., Lyubarskii I. M., Guslyakov A. A. i dr. M.: Mashinostroenie, 1973. 216 s.
6. Gurevich Ya. L. Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvayemykh materialov / Gurevich Ya. L., Gorokhov M. V., Zakharov V. I. i dr. M.: Mashinostroyeniye, 1986. 241 s.

The article considers the features of thermal phenomena in the cutting zone during the processing of hard-to-cut materials. The research was carried out on a lathe with longitudinal turning. The cutting tool is a cutter with non-regrindable carbide blades. Tool material - hard alloy grades T15K6, VK6M. Machinable materials were taken from various groups according to the classification of difficult-to-cut materials. Chrome-manganese-silicon steel 30KhGSA belongs to group I, stainless steel 12Kh18N10T - to group III, heat-resistant nickel alloy KhN67MVTYu - to group V. The effect of cutting temperature on the properties of the processed and tool materials is analyzed. A research plan was drawn up, a scheme for measuring the cutting temperature was developed, and a thermocouple was calibrated. The experiments were carried out without cooling. Measurements were taken while changing the cutting speed, feed, and depth of cut. An analysis of the analytical dependences of the cutting temperature on the cutting characteristics in a one-factor experiment, which approximate the experimental data obtained during the machining of materials, was carried out. Taking into account the dispersion of the physical and mechanical properties of the processed and tool materials, other non-stationary elements of the cutting process, at each research point, determined by the values of cutting speed, feed per revolution, depth of cut, the cutting temperature was measured three times. Processing of the results of cutting temperature studies was carried out in the coordinates, respectively, cutting temperature - cutting speed, cutting temperature - feed per revolution, cutting temperature - depth of cut. Graphs were constructed that showed the form of the curve of dependence of the cutting temperature on the cutting characteristics. It has been established how the cutting temperature changes with changing cutting conditions. The results obtained will improve the efficiency of the turning process in the processing of hard-to-cut materials.

Key words: *temperature, cutting speed, workpiece, grade, wear.*

Алтухов В. М. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Руднєв Є. С. – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри Електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.