

Крижановський В.Б., к.ф.-м. н., доц.
 Кур'ята П.В., ст. викл.
 Мельничук П.П., к.т.н., доц.
 Москвін П.П., д.ф.-м.н., проф.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ ФРЕЗАМИ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

3. Особливості температурних полів при високошвидкісній обробці чавуна фрезами з надтвердих сплавів.

За допомогою математичного забезпечення MATLAB виконані розрахунки температурних полів, які формуються при високошвидкісному фрезеруванні чавунів. Відзначено особливості розподілу температури в кожній області взаємозалежної системи різець-стружка-деталь при обробці виробів фрезами з надтвердих матеріалів. На основі отриманої кількісної інформації висловлені вимоги до можливості експериментальної перевірки виконаних розрахунків.

У попередніх частинах даного циклу робіт [1,2] був запропонований метод розрахунку температурних полів, що формуються рухомим джерелом тепла, у геометрично складній взаємозалежній системі різець-деталь-стружка. Базовим математичним забезпеченням був обраний пакет прикладних програм MATLAB, який доповнювався спеціально розробленою для розв'язку цієї задачі підпрограмою. Попередні розрахунки показали несуперечливість кількісної інформації, що отримувалася в розрахунках, про розподіл температури в зоні різання експериментальним і розрахунковим даним ряду авторів. У той же час при застосуванні такого методу стійка робота програми розв'язання диференціальних рівнянь теплопровідності спостерігалася не для всіх можливих швидкостей руху джерела тепла. Як правило, при високих швидкостях руху джерела (швидкості різання більш 2 м/с) спостерігалися складні теплові картини з появою особливих областей, охоплених замкнутими ізотермами (рис. 5 із роботи [2]), що можна інтерпретувати як прояв дії уявних джерел теплової енергії. Незважаючи на те, що такі теплові області спостерігалися й у розрахунках ряду авторів [3,4] в умовах обробки матеріалів близьких до розглянутих нами, усе ж додатковий аналіз такої складної теплової картини вважаємо необхідним.

Важливою особливістю температурного поля при високій швидкості руху джерела тепла є його значна довжина уздовж напрямку руху і дуже невелика глибина проникнення в деталь. Якщо скористатися аналітичними рішеннями близьких за фізичною постановкою теплових задач [7,8], тоді глибину проникнення поля в деталь можна оцінити, виходячи з наступного виразу, справедливого для високої швидкості різання (число $Re > 10$) і яке відповідає умові, коли тепло поширюється між двома адіабатичними поверхнями:

$$T(x, y) = \frac{q\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{\pi Vx}} \exp\left(-\frac{Vy^2}{4ax}\right), \quad (1)$$

де q - лінійна потужність джерела тепла (Вт/м); λ , a - тепло і температуропровідність середовища поширення; V - швидкість різання.

З поданого виразу випливає, що спадаюча експоненційна компонента поля, яка спрямована уздовж осі Y , зменшується в e раз на глибині матеріалу, який оброблюється, на рівні 50 - 100 мкм при швидкостях різання 5-9 м/с.

Функціональна залежність температури в найбільш прогрітій зоні, тобто на поверхні деталі, що оброблюється, від координати X , може бути отримана, вважаючи в (1) $y=0$. Тоді спрощена до виду

$T(x) = \frac{q\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{\pi xV}}$ формула дозволяє оцінити і характеристичну довжину, на якій температура на поверхні виробу зменшується теж в e раз. Розрахунки глибини проникнення при таких же швидкостях обробки матеріалу з використанням останнього виразу показують, що цей параметр поля є на 2-3 порядки більшим в порівнянні з довжиною зміни поля уздовж осі Y . Така різко асиметрична картина поля істотно ускладнює чисельне рішення задачі по трансформації вихідного температурного поля, яке є практично сферичним, у поле, що сконцентроване біля поверхні різання. Істотна асиметрія теплової

картини, припускає використання в чисельному методі рішення скінчених елементів, які повинні бути сильно витягнуті уздовж осі X, при їхній малій довжині в глибину деталі по осі Y.

Для такого роду задач характерна погана збіжність чисельного алгоритму розв'язання, і істотні кількісні помилки при переході від диференціалів до їхніх скінченно - різницевих аналогів. Підняті питання є принциповими при кількісному аналізі явищ тепловіддачі з зони різання при лезовій обробці матеріалів. Розв'язання поставлених питань і склало основу даної роботи.

У даній роботі розв'язання поставлених задач здійснено при зіставленні розв'язків сформульованої раніше теплової проблеми, знайдених чисельним методом у роботах [1,2], із даними розрахунків, виконаних методом інтегральних перетворень полів, сформованих миттєвими джерелами за методикою, наданою в [7,8]. Виглядає природним, що доповнення запропонованого раніше нами в [1,2] математичного забезпечення, такого роду аналізом дозволить підтвердити вірогідність розрахунків розподілу температури від джерел тепла, що рухаються, які виконані нами в [2], а також істотно поширити діапазон швидкостей різання, для котрих можливо виконувати чисельний аналіз теплових полів при лезовій обробці матеріалів.

Відповідно до методу миттєвих джерел [7,8], квазістацінарне температурне поле, яке, утворюється джерелом, що рухається з постійною швидкістю V , у напівпросторі X-Y, описується наступною інтегральною функцією:

$$T(x, y) = \frac{q}{\pi\lambda} \exp\left(\frac{Vx}{2a}\right) \cdot J_0\left[\frac{V}{2a} \sqrt{x^2 + y^2}\right], \quad (2)$$

де J_0 – функція Бесселя першого роду нульового порядку [7].

У останньому виразі вважається, що теплове поле створюється джерелом тепла з малою довжиною уздовж осей X і Y (точкове джерело), але є нескінченно довгим уздовж осі Z. Використання саме такого розв'язку вихідної теплової задачі виправдовується обраною раніше двовимірною (плоскою) моделлю теплопереносу. Цим же пояснюється розмірність питомої потужності в виразах (1,2).

Виконані тестові розрахунки температурних полів за виразом (2) із точністю не гірше 5-7% відповідають даним чисельного моделювання з використанням запропонованої нами в роботі [2] методики. У цих розрахунках використовувалася термодинамічна інформація про параметри середовища поширення тепла і дані про умови обробки чавуна Сч40 із роботи [1]. Отримані дані відносяться не тільки до відповідності форм теплового поля, але і до появи замкнених ізотерм поблизу поверхні деталі, що оброблюється. Проте при високих швидкостях різання ці ізотерми виглядають сильно притиснутими до оброблюваної поверхні і на рис.1,2 вони практично не виявляються. Таким чином, отримана відповідність розрахунків теплових картин при різанні, виконаних із використанням нашої методики з робіт [1,2] і з застосуванням аналітичних рішень, є вагомим доказом вірогідності запропонованого математичного забезпечення і роботи відповідних обчислювальних програм.

Застосування аналітичних розв'язків задачі теплопереносу в напівпросторі, які отримані методом миттєвих джерел відповідно до [7,8], у даних розрахунках знімає обмеження на швидкості різання матеріалу. Це означає, що при спільному використанні цих розв'язків рівнянь теплопровідності - чисельним методом у геометрично складній області й аналітичних виразів для температурного поля в області деталі - можна отримувати кількісну інформацію про температуру в системі при практично будь-якій швидкості руху різця. Саме такий підхід був використаний у роботі при отриманні остаточних даних про теплову картину в зоні різання.

У якості аналітичного рішення задачі поширення тепла в напівнескінченному середовищі деталі в даних розрахунках, крім виразу (2), використовувалося і наближення руху джерела скінченної довжини $2b$ уздовж координатної осі Z, яка спрямована перпендикулярно площині XOY. Застосування такого виразу дозволить максимально наблизити математичне формулювання задачі до реального процесу різання чавуну торцевою фрезою, коли контакт леза інструмента відбувається на товщині шару b , що зрізається. Такий розв'язок було запозичено з робіт [7,8] для випадку руху джерела з високою швидкістю. У прийнятих в роботі позначеннях цей вираз має вигляд:

$$T(x, y, z) = \frac{q\sqrt{a}}{2\lambda\sqrt{\pi Vx}} \exp\left[-\frac{Vy^2}{4ax}\right] \left\{ \Phi\left[\left(0,5b + |z|\right)\sqrt{\frac{V}{4ax}}\right] + \right. \\ \left. + \Phi\left[\left(0,5b - |z|\right)\sqrt{\frac{V}{4ax}}\right] \right\}, \quad (3)$$

де $\Phi[U]$ – інтеграл ймовірності [6,7] від аргументу U , z – поточна координата, яка спрямована перпендикулярно площині розрахунку температурних полів у двовимірній задачі (вісь X спрямована проти напрямку руху різця, вісь Y – у глиб виробу), b – ефективна ширина шару, що зрізається.

Приведена формула відрізняється від виразу (1) наявністю компоненти, пов'язаної з описом поширення тепла в напрямі перпендикулярному до площини XOY в обидві сторони від різця. Розподіл температури уздовж осі Z описано через інтеграл ймовірності Φ . Відповідно до прийнятих у роботах [7,8] припущенням вираз (2) може застосовуватись для будь-яких швидкостей руху джерела, тоді як (3) описує температурне поле, сформоване джерелом тепла, що рухається швидко.

Програмне забезпечення з розрахунку температурних полів відповідно до формул (2-3) було розроблено в роботі і включено в середовище пакета MATLAB для розв'язку диференціальних рівнянь параболічного типу. Це дозволяло розраховувати теплові поля в різноманітних умовах і виконувати порівняльний аналіз використання різноманітних наближень для теплообміну при фрезеруванні торцевими фрезами. У подальших розрахунках, як правило, використовувалося вирази (2,3) як найбільше відповідні реальним умовам теплопереносу.

У роботі [2] нами при моделюванні дії теплового джерела в зоні пластичної деформації матеріалу при його лезовій обробці використовувалася модель різання Палмера, Окслі [4]. Саме з її допомогою були виконані оцінкові розрахунки розподілу температури при різанні матеріалу в перших частинах циклу наших робіт [1,2]. Проте, при виконанні коректного теплового аналізу процесу різання чавуна Сч40 обмежуватися такими уявленнями про механізм виділення тепла в зоні різання не зовсім виправдано. Дійсно, при лезовій обробці чавуна, як крихкого матеріалу, більш обгрунтоване застосування моделі різання, що базується на уявленні руйнації чавуна навантаженням на розрив. У такій ситуації виглядає доцільним виконати додаткове моделювання функції, що описує виділення енергії в області руйнації крихкого матеріалу. Така задача припускає повторення аналогічної розрахункової процедури, що виконана в роботі [2]. Проте в ній повинні бути використані дещо інші фізичні положення і математичні вирази.

У основу розрахунку енергії, що виділяється при лезовій обробці чавуна, у роботі використані теоретичні залежності сил різання від параметрів обробки, які запропоновані в роботах [5,6]. Ці результати є узагальненням великої кількості експериментальних даних по вивченню впливу режимів обробки на силові й енергетичні характеристики процесу різання. Незважаючи на те, що ці модельні уявлення базуються на знайдених авторами [5,6] кореляційних взаємозв'язках параметрів різання з властивостями оброблюваних матеріалів без притягнення фундаментальних розробок, вони підкріплені відповідними теоретичними положеннями про процес руйнації матеріалів у процесі різання і, отже, вони можуть бути використані в інженерних розрахунках.

Необхідно відзначити, що при будь-якому механізмі руйнації матеріалу температура в зоні різання визначається не тільки тепловими характеристиками самої зони, але й в істотній мірі залежить від умови відводу тепла в деталь, стружку і різець. Дійсно, якщо виходити з припущення, що вся енергія, що виділяється в зоні різання, витрачається на прогрів самої зони руйнації, то температура джерела теплової енергії може бути оцінена по простому виразу з робіт [7,8]. Такий простий підхід був використаний нами раніше в тестових розрахунках розподілу температури [1,2] у зоні різання матеріалу при малих швидкостях його обробки. Проте стала температура різання визначається в значній мірі інтенсивністю відводу теплової енергії в об'єм матеріалу, що контактує з різцем. Це ствердження справедливо при будь-яких швидкостях різання, навіть коли швидкість руху джерела теплової енергії є набагато більшою швидкості поширення теплового поля в середовищах. Тому ігнорування тепловіддачу в об'єм матеріалів, навіть при коректному виборі моделі стружкоутворення і взаємодії середовищ при різанні, не може бути визнане цілком відповідним реальним умовам процесу. Це означає, що ігнорування в розрахунках процесами поширення тепла за рахунок теплопровідності середовищ і застосування в аналізі спрощених рішень диференціальних рівнянь теплопереносу може стати причиною істотних похибок, навіть при використанні різноманітного роду поправок до аналітичних залежностей. Тому в роботі блок рішення диференціальних рівнянь теплопровідності методом скінчених елементів був доповнений підпрограмою розрахунку теплових потужностей, що виділяються як у зоні руйнації чавуна, так і за рахунок роботи сил тертя на передній поверхні різця.

Функція, що моделює роботу, яка витрачається на руйнацію чавуна, будувалася відповідно до рекомендацій робіт [5,6] у такій послідовності. Взаємозв'язок між дотичною напругою в матеріалі в умовній площині зсуву при його лезовій обробці та його твердістю має вид [5]:

$$\tau_p = 0,165 \cdot HB \cdot C_1,$$

де HB – твердість матеріалу по Бринеллю. Для чавуна Сч40 відповідно до даних [9] HB знаходиться на рівні 240-269 кГс/мм^2 у залежності від розмірів вихідного зразка і методів його

попередньої теплової обробки. У дійсних розрахунках прийнято $HB = 240$ кГс/мм². Коефіцієнт граничного зміцнення C_1 для сірих чавунів відповідно до рекомендацій роботи [5] дорівнює: $C_1 = 1,06$.

Механічна потужність, що витрачається на руйнацію матеріалу і яка виділяється в зоні різання, оцінюється за виразами [5,6]:

$$N_p = \varepsilon_p t_p b V \tau_p,$$

$$\varepsilon_p = \frac{k^2 - 2k \sin \gamma + 1}{k \cos \gamma}$$

де ε_p – відносний зсув при різанні; k – коефіцієнт усадки стружки; γ – передній кут різця, у розрахунках прийнято $\gamma = -10^\circ$, t_p, b – товщина і ширина зрізу.

Дійсна модель розглядає двовимірний випадок теплопереносу. У такому наближенні аналітичні рівняння (1-3) для розрахунку теплової картини припускають використання у формулах питомо лінійну густину енергії, що виділяється джерелом тепла. Тоді для отримання шуканої залежності для густини потужності, що виділяється, достатньо формулу для розрахунків N_p привести до двовимірної задачі шляхом ділення її на товщину зрізу b . Тоді питома по поверхні потужність теплової енергії, що виділяється в зоні різання чавунів, може бути оцінена за виразом:

$$q = N_p / b = \varepsilon_p t_p V \tau_p \quad (4)$$

Саме останній вираз використаний нами в якості вихідної формули для розрахунків температурних полів у виробі згідно (1-3).

Істотний внесок у загальну картину температурного поля в зоні різання вносять теплові джерела, пов'язані з роботою сил тертя на передній і задній поверхні інструмента. Принципово розрахунок цих енергетичних внесків у тепловий баланс системи може бути виконаний по однаковим формулам, тому що фізична причина їхньої появи та сама [5,6]. Наслідуючи вже обраній методиці розрахунку силових характеристик процесу різання [5,6], у дійсній роботі для оцінки середньої питомої сили тертя використовувався наступний вираз:

$$f_{Tp} = [0,10 - 0,07 \cdot 10^{-3} (T_{п.п.} - 500)] \cdot HB \cdot C_1$$

де $T_{п.п.}$ – середня температура на поверхні тертя. Для різання твердосплавним інструментом відповідно до рекомендацій [5,6] $T_{п.п.} = 900^\circ C$.

Питома тепла потужність, що виділяється на поверхні тертя між передньою поверхнею різця і стружкою, дорівнює:

$$q_{Tp} = f_{Tp} C b V / k. \quad (5)$$

Довжина повного контакту стружки з передньою поверхнею інструмента може бути розрахована по виразом:

$$C = t_p k^{0,1} \left[k(1 - 0,5 \operatorname{tg} \gamma) + \frac{1,25}{\cos \gamma} \right]$$

Останній із приведених параметрів процесу різання необхідний при розрахунку теплового потоку від джерела, пов'язаного з роботою сил тертя на передній поверхні інструменту, що спрямований в об'єм різця та викликає його розігрів.

Подані формули використовувалися в роботі для моделювання теплової картини, утворюваної силою тертя стружки по передній поверхні інструменту. В силу обмеженості експериментальних даних за температурними полями у зоні високошвидкісного торцевого фрезерування чавуна Сч40 у дійсних розрахунках покладалося, що різець - гострий і фазка зносу по задній поверхні інструменту дуже мала. Це означало, що тепла енергія, яка виділяється на задній поверхні різця, навіть при значних силах тертя, невелика. В той же час дію цього джерела тепла не важко врахувати і ця процедура буде виконана, якщо буде потрібно, у міру накопичення експериментальних даних з цього питання.

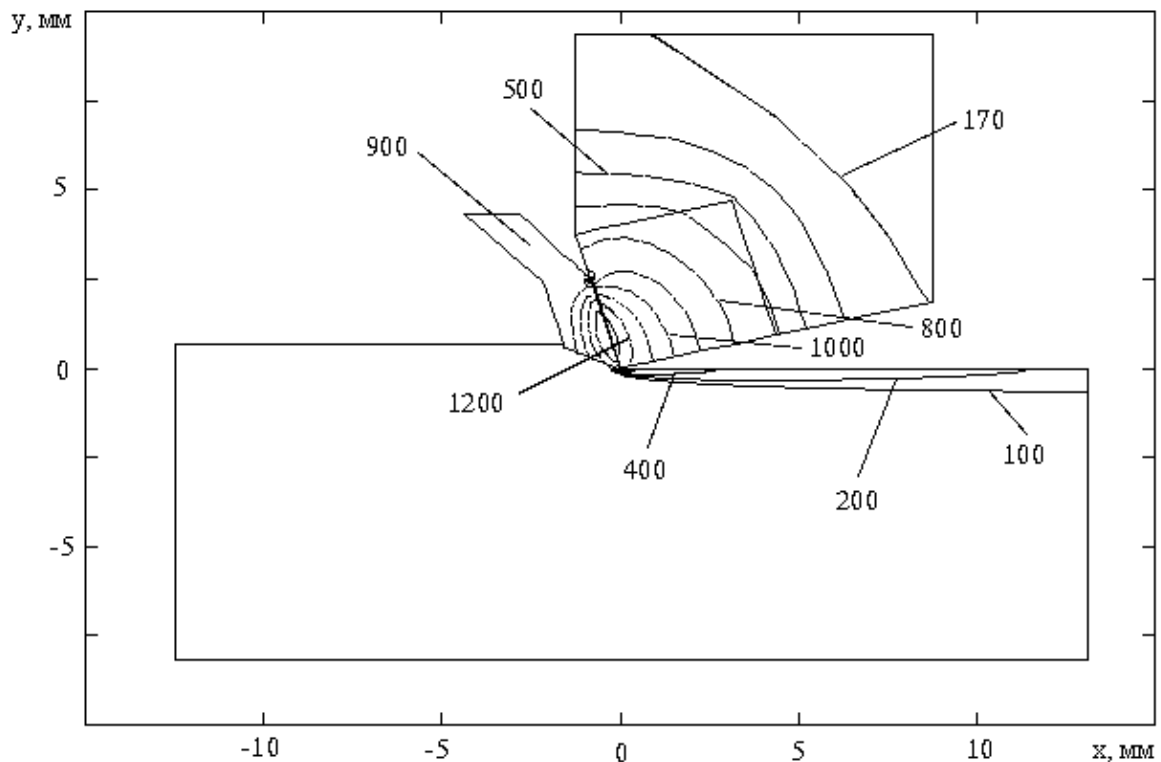


Рис.1. Розподіл температури в системі виріб-стружка-різець при фрезеруванні чавуну Сч40 зі швидкістю $V = 2 \text{ м/с}$. Параметри обробки $t_p=0.8 \text{ мм}$, $k=1,2$, $C=2,5 \text{ мм}$. Температура вимірюється в $^{\circ}\text{C}$. Температурне поле в різці подано на момент часу неперервної обробки 20 с.

Формули для розрахунку потужності теплових джерел (4,5) були введені в розроблені раніше [1,2] робочі програми. При цьому дані про квазістаціонарне температурне поле у деталі отримувалися за рахунок розв'язку виразів (1-3) або за методикою [2], в залежності від поставленої задачі. Розподіл температури в різці розраховувався, як і раніше, методом скінчених елементів за стандартною підпрограмою в середовищі системи MATLAB. Схема теплової взаємодії між стружкою, різцем і деталлю була обрана у такий же самий спосіб, як і у вихідних роботах [1,2]. В обговорювану модель лише були внесені розмірні корективи, що до урахування форми зони руйнації чавуна, параметрів сходу стружки і роботи, яка виконується силою тертя на передній поверхні різця. Ці дані були введені в обчислювальну програму за допомогою раніше розробленого спеціального координатного планшета для системи MATLAB.

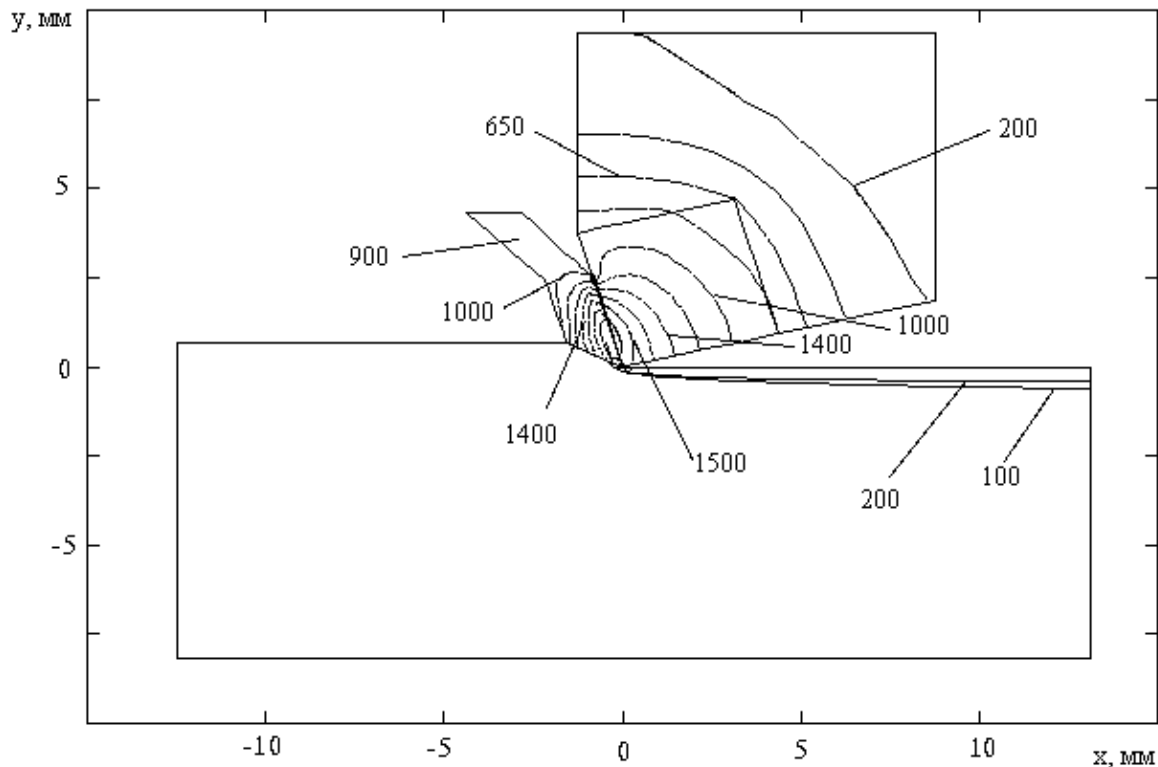


Рис.2. Розподіл температури в системі виріб-стружка-різець при фрезеруванні чавуну Сч40 зі швидкістю $V = 5 \text{ м / с}$ Параметри обробки $t_p=0.8 \text{ мм}$, $k = 1,2$, $C = 2,5 \text{ мм}$. Температура вимірюється в $^{\circ}\text{C}$. Температурне поле в різці подано на момент часу неперервної обробки 20 с.

Результати чисельного моделювання температурних полів при різанні чавуна зі швидкостями 2 і 5 м/с систематизовані на рис.1,2. Подані розрахункові дані отримані з використанням найбільше вигодних, на нашу думку, фізичних уявлень про процес різання чавуна і найбільше вигодних значень параметрів теплофізичних і механічних властивостей системи. Тому можна стверджувати, що розрахункові дані рис.1,2 із високим ступенем вірогідності повинні описувати теплове поле в області різання чавуна Сч40, хоча, природно, у справедливості цього факту можна переконатися тільки при виконанні відповідного комплексу експериментальних досліджень. У той же час ці результати дозволяють зробити деякі висновки про особливості температурних полів при високошвидкісному фрезеруванні чавуна.

Як і відзначалося раніше, температурне поле рис.1,2 характеризується значною довжиною уздовж напрямку різання (вісь X, декілька міліметрів за лезом різця) і дуже малою глибиною проникнення всередину виробу (вісь Y, сотні мікрметрів). З порівняння даних рис.1,2 випливає, що глибина прогріву деталі декілька зростає зі зменшенням швидкості різання. Це явище пов'язане зі зменшенням загальної області нагрівання матеріалу деталі при зменшенні швидкості руху джерела, коли все температурне поле концентрується біля джерела тепла. Необхідно відзначити, що такий розподіл температури спостерігається, незважаючи на те, що зі зменшенням швидкості різання зменшується і теплова потужність, що виділяється джерелом (формула (4)).

Не менше важливою особливістю розташування ізотерм в деталі є зростання градієнтів температури у всіх частинах деталі зі збільшенням швидкості різання. Така ситуація обумовлена тим, що при високій швидкості різання (на рівні 5 м/с) джерело не встигає надати виробові необхідну для його нагрівання теплову енергію. Остане відбивається на глибині прогріву матеріалу і зростанні градієнтів температури поблизу поверхні, що обробляється. В цілому отримані нами дані про хід ізотерм у деталі збігаються за формою з даними цілого ряду авторів [2,3].

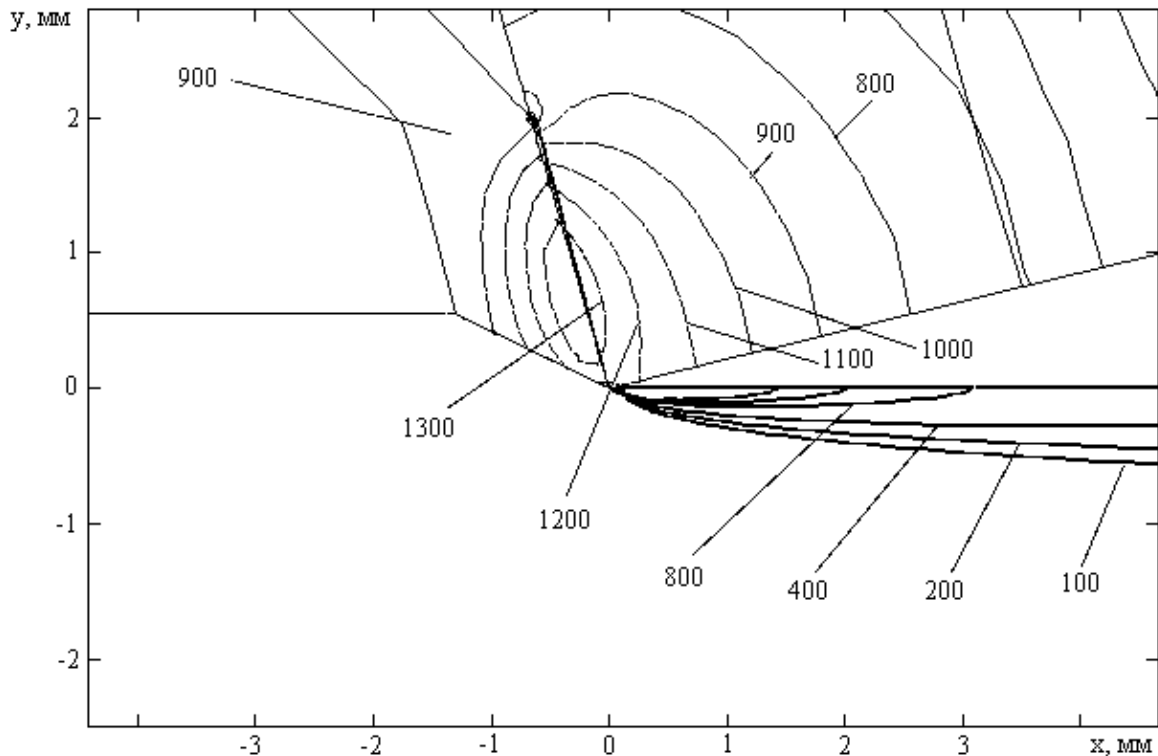


Рис.3. Розподіл температури в області стружкоутворення системи виріб-стружка-різець при фрезеруванні чавуну Сч40 зі швидкістю $V = 2 \text{ м/с}$.

Параметри обробки відповідають даним рис.1.

На рис.1,2, а найбільш детально на рис.3, подані дані про розподіл температур у різціта стружці. Форма теплових полів у цих областях системи визначається в основному функціонуванням джерела тепла на контакті передньої поверхні різця зі стружкою. Дія цього джерела, як і очікувалося, призвела до додаткового розігріву об'єму різця, так і стала причиною появи неоднорідного теплового поля в стружці. Необхідно відзначити, що при обраних параметрах різання розігрів різця за рахунок роботи сил тертя на передній поверхні виглядає дуже значним. Підвищення температури різця, у порівнянні з розрахунками, виконаними без урахування цього чинника [1] складає декілька сотен градусів.

На рис.1-3 дані по розподіл температури в різці наведені після протікання заданого інтервалу безупинного різання. У цих розрахунках температура на значному віддаленні від леза різця не контролювалася. Тому теплова картина в різці є істотно нестационарною, що залежить від параметрів тимчасових циклів різання й охолодження останнього. У цілому ж температурне поле в різці характеризується невисокими, порівняно з полем у виробі, величинами температурних градієнтів. Це дозволяє висловити припущення, що саме в цій області системи можна отримати вирогідні експериментальні результати за допомогою термопар.

Що стосується появи неоднорідного температурного поля в стружці, то цей ефект також безпосередньо пов'язаний із роботою сил тертя на передній поверхні різця. В укрупненому масштабі теплове поле в стружці подане на рис.3. Воно відповідає режимам обробки чавуну рис.1. при часі безупинного різання 20 с. З отриманих даних випливають значні величини температур у зоні контакту і високі їх градієнти, які характеризуються їхньою локалізацією в зоні руйнації матеріалу. Як показують розрахунки, ізотерми температурного поля поблизу зони контакту стружки з різцем є замкненими. Вони простягаються як у різець, так і в стружку, охоплюючи джерело тепла.

На рис.4 подані поперечні, стосовно напрямку руху різця, ізотерми теплового поля для різноманітних точок на осі X. Ці дані отримані в роботі з використанням формул (3) для розрахунків теплового поля в напрямку осі Z, що спрямована перпендикулярно осям X і Y. З рис.4 видно, що в міру віддалення точки виміру від джерела тепла, розрахункова ізотерма притискається до поверхні, що оброблюється, й одночасно трансформується з прямокутної форми, що повторює форму джерела, у сферичну. Такий результат відбиває факт втрати температурним полем даних про форму джерела тепла в міру віддалення точки спостереження від джерела енергії. Відзначимо також, що температурне поле практично зникає на довжині рівної 1 см, тобто в даній ситуації на довжині рівній довжині різця.

Найбільше повна картина розподілу температури в зоні різання в ізометричній проекції координатних осей T-X-Y, наведена на рис.5. Дані цього рис. є узагальненнями даних рис.1,2. Проте вони наочно ілюструють складність температурного поля в зоні різання матеріалу.

Отримані кількісні дані про розподіл температури в області різання чавуна при його торцевому фрезеруванні природно потребують експериментального підтвердження. У той же час ці дані є обґрунтованим орієнтиром при виборі методу аналізу температурних полів у зоні різання. Виходячи з істотної протяжності теплового поля уздовж напрямку різання і дуже малої глибини його проникнення в деталь, можуть бути корисні наступні зауваження про експериментальні методи аналізу такої теплової картини.

Найбільше інформативним методом вивчення розподілу температури є метод прямого виміру за допомогою термопар. У той же час малі глибини проникнення температурного поля в деталь, співмірні з розміром спаю традиційної термопари, робить такий засіб дослідження важким. Дійсно, отримувати вірогідні дані за допомогою термопари з розміром спаю біля 0,3 мм в області матеріалу з типовим розміром 100 мкм і перепадом температури на такій ділянці на рівні 500 С, уявляється складною інженерною задачею.

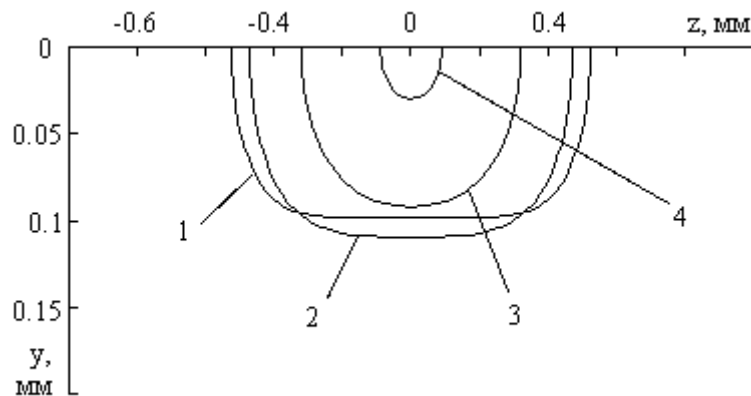


Рис.4. Розріз температурного поля в площині YOZ при фіксованих значеннях координати X. 1 – x = 1 мм; 2 – 2 мм; 3 – 4 мм; 4 – 6 мм.

Очевидно, альтернативним методом оцінки розподілу температури в таких вимірах можуть бути дані про температуру в об'ємі різця на малому видаленні від зони різання. Відповідно до рис.1-2 теплове поле в різці характеризується невисокими градієнтами, може виявитися слабко залежним від часу через не високу тепловіддачу в механізм, що отримує різець.

В якості ще одного з методів експериментального вивчення такого швидкозмінного теплового поля може бути рекомендований і метод аналізу за допомогою теорії фізичної подоби. При такому способі цілком можливо перекласти аналізовану теплову задачу в область низьких температур і виконати експериментальні його дослідження, застосовуючи в якості індикатора рідкі кристали. Такий спосіб добре відомий і достатньо широко застосовується в сучасній технології при аналізі полів у малих об'ємах простору [10,11].

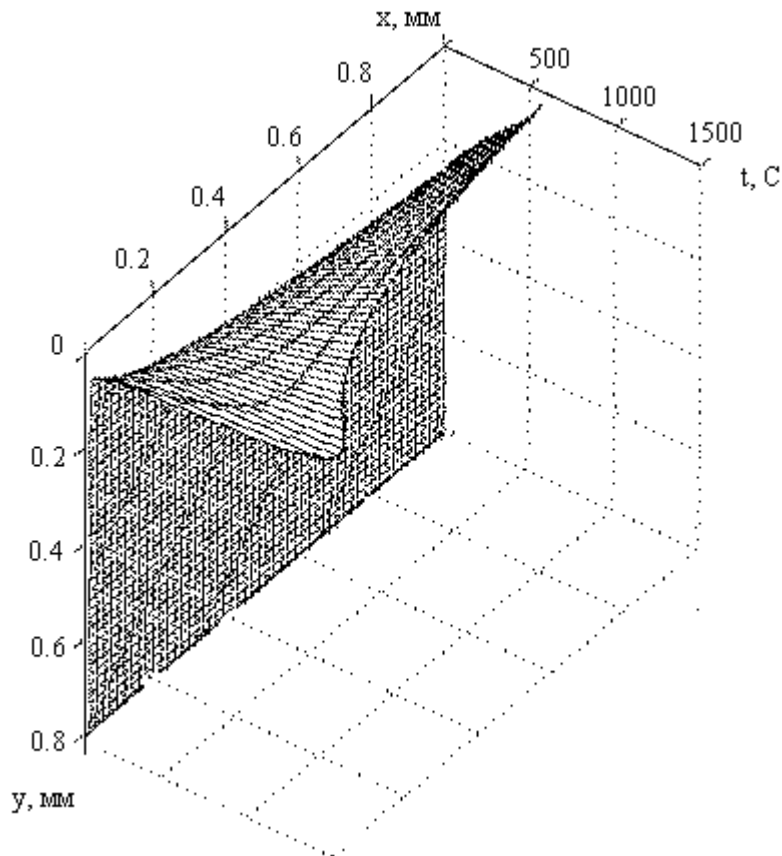


Рис.5. Ізометрична проекція температурного поля в координатних осях Y-X-T при фрезеруванні чавуну Сч40 зі швидкістю 2 м/с і параметрами обробки, які відповідають даним рис.1. Лезо різця розташоване в початку координат.

Остаточний вибір експериментальної методики вивчення теплових картин в області різання при фрезеруванні чавуну буде виконаний і реалізований у наступних роботах. У висновку варто додати, що виконані розрахунки стосуються однократного проходу фрези по поверхні виробу. Цілком можливо, що при багатократних проходах різця, теплове поле буде не так сильно локалізовано в поверхневій області виробу через накопичення в ньому теплової енергії. Цей факт може бути використаний при експериментальній перевірці виконаних розрахунків, коли вимоги до вимірів будуть не такими жорсткими. У той же час така інтегральна експериментальна інформація, очевидно, зажадає більш складного математичного моделювання для її зіставлення з даними теорії.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Виговський Г.М., Крижановський В.Б., Кур'ята П.В., Мельничук П.П.* Температурні поля при обробці металів фрезами з надтвердих матеріалів: фізична постановка задачі, математичне і програмне забезпечення Вісник ЖІТІ, 2001, В. 16, С.60-71.
2. *Мельничук П.П., Крижановський В.Б., Кур'ята П.В., Москвін П.П.* Температурні поля при обробці металів фрезами з надтвердих матеріалів. 2. Модернізація програмного забезпечення MATLAB для опису теплопереносу від рухомого джерела тепла та моделювання роботи теплових джерел. Вісник ЖІТІ, 2001, N.18, С. 33-42.
3. *Tay F.O., Stewenson M.G., de Cahl Davis G.* Using the finite element method to determine temperature distributions in orthogonal machining. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1974, V.188, N 55, P. 627-638.
4. *Армарего С.Н., Дж. А., Браун Р.Х.* Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение 1977, 325 С.
5. *Розенберг А.М., Розенберг О.А.* Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. К.: Наука думка, 1990, 320 С.
6. *Розенберг Ю.А.* Создание нормативов по определению сил резания с использованием теоретических зависимостей процесса резания. Весник машиностроения. 2000, N 9, С.35-40.

7. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М., Машиностроение, 1981, 279 С.
8. Резников А.Н., Резников А.А. Тепловые процессы в технологических системах. М. Машиностроение. 1990. 288 С..
9. Справочник металлста. Т.2. Под ред. Чернавского С.А., Рецикова В.Ф. М.: Машиностроение, 1976, 718 С.
10. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении. Под ред. Грабченко А.И. Харьков, ХГПУ, 1999, 446 С.
11. Готра З.Ю., Висень Д.К., Пархоменко В.В., Смерко Л.Н., Дзисяк Э.П., Фреган В.Т. Индикаторные устройства на жидких кристаллах. М.: Сов.радио, 1980, 240 С.

УДК 541.124-16: 536.2

Температурные поля при обработке металлов фрезами из сверхтвердых материалов. 3. Особенности температурных полей при высокоскоростной обработке чугуна фрезами из сверхтвердых материалов./ В.Б.Крыжановский, П.В.Курьята, П.П.Мельничук, П.П.Москвин, //Вісник ЖІТІ, 2002 – № : С. – /ил. 5. – Библиогр.: 11 назв.

В среде математического обеспечения MATLAB выполнены расчеты температурных полей, формируемых при высокоскоростном фрезеровании чугуна. Отмечены особенности распределения температуры в каждой области взаимосвязанной системы резец-стружка-деталь при обработке изделий фрезами из сверхтвердых материалов. На основе полученной количественной информации высказаны предположения о возможностях экспериментальной проверки выполненных расчетов.

УДК 541.124-16: 536.2

The Temperature Fields at the Metals Machining by the Cutters of Superhard Materials. 3. The Temperature Field Peculiarities at High-Speed Metals Machining by the Cutters of Superhard Materials. / V.B. Kryzhanovsky, P.V. Kur'yata, P.P. Melnichuk, P.P. Moskvina // Вісник ЖІТІ, 2002. – № : P. – /ill. 5. – Refs.: 11 titles.

The calculated data of temperature distribution at the high-speed metals machining of superhard material was acquired with using the program package MATLAB. The temperature distribution peculiarities in system of cutter-detail-chip at the machining by cutter was described and analysed. On the base of calculated date the main difficult of experimental verification was discussed.