

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ КРУГЛОЇ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНКИ ІЗ ПОЗИТИВНИМ ЗАДНІМ КУТОМ

В роботі розглядаються питання розрахунку температурного поля на передній і задній поверхнях круглої різальної пластинки. Нерівномірність інтенсивності теплових джерел враховується розбиттям їх на елементарні джерела уздовж різальної кромки. Приймається, що температура у будь-якій точці є сумою температур, які створюються в цій точці кожним із елементарних джерел. Для вирішення цієї задачі слід знати координати центра кожного джерела відносно точки, де розраховується температура. Одержані шукані залежності в загальному виді, а також показані особливості їх застосування для круглих різальних пластинок.

Ключові слова: температурне поле при різанні, кругова різальна кромка, джерела тепла, відносні координати джерел тепла

M. MAZUR,
Khmelnitskyi National University

THE CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF A CUTTING TOOL INSERT WITH A POSITIVE CLEARANCE ANGLE

This work addresses the question of calculating the temperature fields of the rake and flank faces of a cutting tool insert. During the cutting process with such inserts, irregularities of the thickness of the cut layer along the cutting edge occur, along with the length of contact of the shavings on the front surface and the difficulty of the formation of the shavings due to their deformation occurring in differing directions. This causes irregularities in the intensity of heat sources along the cutting edge and the front surface of the instrument. In this work, this irregularity is accounted for by dividing the contact zone into small areas-sources along the cutting edge and the front surface in the direction of the flow of the shavings. It is assumed that the temperature in any point of contact is equal to the sum of the temperatures which are created at that point by each of the heat sources. To calculate these temperatures it is required to know the spatial coordinates of the heat sources on the front and back faces of the instrument relative to the specified point. This orientation is influenced by the form of the cutting edge of a specific tool, its location relative to the vector of cutting speed, and the form of the front surface of the instrument on each of the individual elementary sections (the presence of chamfers, grooves, etc.) After geometric transformations, the relations for the calculation of coordinates are given and the peculiarities of their uses in various models of the location of the heat source and the point in which the temperature is calculated are shown. The work shows the peculiarity of using the obtained technique for the case of working with a circular plate with a positive back angle. Such plates are installed with the surface of the cutting edge perpendicular to the cutting speed. Therefore the relative coordinates of the heat sources for a circular cutting edge are defined by the center coordinates of the point sources relative to the point where the temperature is calculated.

Keywords: Temperature field during cutting, circular cutting edge, heat sources, relative coordinates of heat sources.

Постановка проблеми

Розроблені багатьма авторами термомеханічні моделі процесу різання [1, 2] стосувалися вільного різання із постійними вздовж різального леза умовами оброблення або варіантів, які могли би бути зведені до вільного різання (відсутність заокруглення вершини і кут загострення в плані $\varepsilon = 90^\circ$). На практиці же більш поширені інструменти із заокругленою деяким радіусом місця переходу від головної до допоміжної різальних кромки. Ця ділянка, особливо характерна для непереточуваних пластинок, може займати значну частину активного різального леза або все різальне лезо може мати кругову форму.

Аналіз останніх джерел

Розглядаючи аналогічну задачу, P.Oxley [3] ввів поняття еквівалентної різальної кромки, перпендикулярної до напрямку сходу стружки. Для розрахунку цього напрямку стружка приймалась як ряд елементів нескінченно малої ширини, на кожному з яких діють сили тертя, перпендикулярні до елементарної ділянки різальної кромки. Рівнодіюча цих сил приймалась за напрям сходу стружки, а кут між ним і перпендикуляром до головної різальної кромки розраховувався.

Такий підхід, на наш погляд, цілком допустимий при визначенні сил різання, коли всі елементарні різальні леза можуть розглядатись окремо, має цілий ряд обмежень для його прямого застосування при аналізі контактних теплових процесів:

а) геометричні параметри різальної частини приймаються постійними для всієї еквівалентної різальної кромки, тоді як на дійсному різальному лезі вони, як правило, змінні, особливо на криволінійній ділянці;

б) для врахування взаємовпливу елементарних теплових джерел, що діють на передній і задній поверхнях, необхідно знати їх реальне розміщення в просторі, а не зведене до однієї прямолінійної різальної кромки;

Тому при аналізі контактних процесів на криволінійному різальному лезі із змінними умовами різання зведення його до еквівалентного різального леза з постійними умовами не є обґрунтованим і може призвести до спотворення реальної картини.

Метою роботи є: Розроблення методики використання термомеханічної моделі різання саме для процесу оброблення циліндричних деталей круглими непереточуваними пластинками із позитивним заднім кутом.

Виклад основного матеріалу

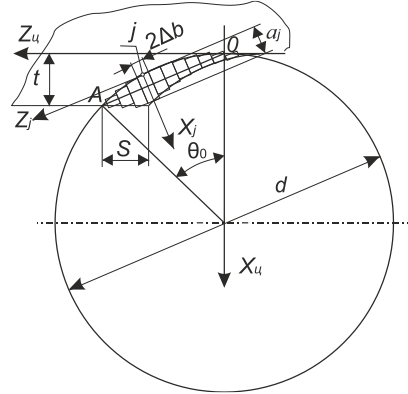


Рис.1. Схема розбиття шару, зрізаного круговою різальною кромкою

В даній задачі пропонується замінити реальне кругове різальне лезо – ступінчастим із K_∂ ділянок (рис.1), де ширина кожного елементарного різального леза буде дорівнювати ширині елемента зрізаного шару $2 \cdot \Delta b$, виміряного перпендикулярно напрямку сходу стружки. В роботах М.І. Клушина [4] та С.С. Сіліна [5] цим напрямком приймався перпендикуляр до лінії, що з'єднує точки початку і кінця зрізаного шару.

Для аналізу умов роботи на кожній ділянці конкретна геометрія загострювання інструмента має бути перерахована у кожній ділянці на напрямку сходу стружки [6].

Для аналізу картини розподілу теплових потоків з боку інструмента представимо форму його передньої і задньої поверхонь в вигляді N_1 прямолінійних ділянок $\Delta l_{1j} = l_{1j} / N_1$ (рис. 2). Кожна з ділянок на передній поверхні нахилена під кутом γ_{jk} , ($j = 1 \dots K_\partial$), що визначається конкретною формою передньої поверхні. Температура середин контактих ділянок з боку інструмента в цих ділянках буде визначатися сумою температур, створюваних усіма джерелами q_{1k} і q_{2k} ($k = 1 \dots N_1$), розміщених на кожній j -й ділянці різальної кромки [1]:

$$\theta_{1mi} = \sum_{j=1}^{K_\partial} \cdot \sum_{k=1}^{N_1} T_{1mijk} \cdot q_{1jk} + \sum_{j=1}^{K_\partial} \cdot \sum_{k=1}^{N_1} T_{2mijk} \cdot q_{2jk} ;$$

$$\theta_{2mi} = \sum_{j=1}^{K_\partial} \cdot \sum_{k=1}^{N_1} T'_{1mijk} \cdot q_{1jk} + \sum_{j=1}^{K_\partial} \cdot \sum_{k=1}^{N_1} T'_{2mijk} \cdot q_{2jk} ,$$

$$\text{де } T_{1mijk} = \frac{\mathfrak{S}_{1mijk}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} ;$$
(1)

\mathfrak{S}_{1mijk} – інтегральна функція, що визначає температуру в i -й точці m -ї ділянки різальної кромки, створювану k -м плоским джерелом з розмірами $(2 \cdot b) \times \Delta l_1$, розміщеним на j -й ділянці різальної кромки [7].

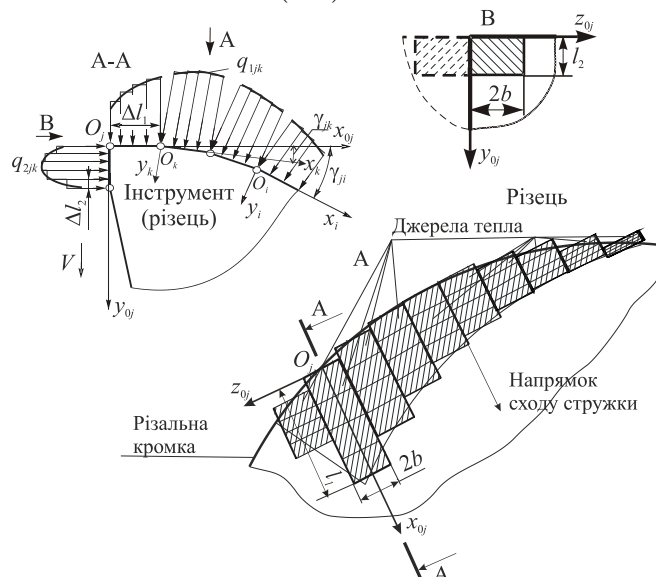


Рис. 2 Схема представлення джерел тепла нерівномірної інтенсивності вздовж передньої поверхні і різальної кромки

Точне рішення цього інтеграла вимагає знання відносних координат X, Y, Z - i -ї точки m -ї ділянки різального леза в системі координат k -го джерела j -ї ділянки різального леза. Кожна з цих ділянок зміщена одна відносно одної у просторі, а крім того, їх різальні кромки нахилені по відношенню до напрямку швидкості різання під кутом λ_m . Для кожного інтервалу різальної кромки введемо постійний масив центрів координат джерел q_{1jk} і q_{2jk} в системі координат $X_{0j}O_jY_{0j}$, орієнтованій віссю Y_{0j} за напрямком швидкості різання:

а) для джерел q_{1jk} :

$$\begin{aligned} X_{0j1} &= 0; Y_{0j1} = 0; \\ X_{0jk} &= X_{0jk-1} + \Delta l_{1j} \cdot \cos \gamma_{jk-1}; \\ Y_{0jk} &= Y_{0jk-1} + \Delta l_{1j} \cdot \sin \gamma_{jk-1}, \quad (k = 2 \dots N_1); \end{aligned}$$

б) для джерел q_{2jk} :

$$X_{0jk} = 0; Y_{0jk} = (k-1) \times \Delta l_{2j}, \quad (k = N_1 + 1 \dots 2 \cdot N_1),$$

де $\Delta l_{2j} = l_{2j} / N_1$.

Повернемо систему координат $X_{0j}O_jY_{0j}$ на кут γ_{jk} так, щоб вона стала паралельною $X_kO_kY_k$. Тоді координати центрів системи k -го джерела O_k на j -й ділянці в системі $X'_{0j}O'_jY'_{0j}$ визначаються:

$$\begin{aligned} X'_{0jk} &= Y_{0jk} \cdot \sin \gamma_{jk} + X_{0jk} \cdot \cos \gamma_{jk}; \\ Y'_{0jk} &= Y_{0jk} \cdot \cos \gamma_{jk} - X_{0jk} \cdot \sin \gamma_{jk}. \end{aligned}$$

Для розрахунку координат i -ї ділянки передньої поверхні m -го інтервалу різального леза, де буде визначатися температура, необхідно спочатку паралельно перенести систему $X_{0m}Y_{0m}Z_{0m}$ в абсолютну систему координат джерела $X_{0j}Y_{0j}Z_{0j}$, а потім послідовно повернути її на кути λ_j та γ_{jk} . Тоді після відповідних перетворень і об'єднання формул, одержаних для джерел, що діють на передній і задній поверхнях, середина i -го інтервалу поверхні, де розраховується температура, в системі $X_kO_kY_k$ джерела має координати:

$$\begin{aligned} X &= \left[\left(Y_{0mi} + \frac{\Delta l_{pm}}{2} \cdot \sin \gamma_{mi} - Y_{Lj} + Y_{Lm} \right) \cdot \cos \lambda_j - (Z_{Lm} - Z_{Lj}) \cdot \sin \lambda_j - Y_{0jk} \right] \sin \gamma_{jk} + \\ &+ \left(X_{0mi} + \frac{\Delta l_{pm}}{2} \cdot \cos \gamma_{mi} - X_{Lj} + X_{Lm} - X_{0jk} \right) \cdot \cos \gamma_{jk}; \\ Y &= \left[\left(Y_{0mi} + \frac{\Delta l_{pm}}{2} \cdot \sin \gamma_{mi} - Y_{Lj} + Y_{Lm} \right) \cdot \cos \lambda_j - (Z_{Lm} - Z_{Lj}) \cdot \sin \lambda_j - Y_{0jk} \right] \cos \gamma_{jk} - \\ &- \left(X_{0mi} + \frac{\Delta l_{pm}}{2} \cdot \cos \gamma_{mi} - X_{Lj} + X_{Lm} - X_{0jk} \right) \cdot \sin \gamma_{jk}; \\ Z &= \left(Y_{0mi} + \frac{\Delta l_{pm}}{2} \cdot \sin \gamma_{mi} - Y_{Lj} + Y_{Lm} \right) \cdot \sin \lambda_j + (Z_{Lm} - Z_{Lj}) \cdot \cos \lambda_j. \end{aligned} \quad (2)$$

де X_{Lj} , Y_{Lj} і Z_{Lj} з відповідними індексами - координати центрів систем $X_{0m}Y_{0m}Z_{0m}$ кожної ділянки різального леза в деякій абсолютній системі координат інструмента. Як таку систему можна взяти систему координат будь-якої ділянки, наприклад, першої.

В залежності від розміщення теплового джерела і точки, де розраховується температура, параметр T (1) та одержані загальні вирази (2) перетворюються в часткові для конкретних випадків за допомогою наступних підстановок [7]:

а) якщо $k = 1 \dots N_1; i = 1 \dots N_1$ (точки, де визначається температура, і джерела знаходяться на передній поверхні, функція T_{1mijk}), то підставляється тільки $\Delta l_{pm} = \Delta l_{1m}$;

б) якщо $k = (N_1 + 1) \dots 2N_1; i = 1 \dots N_1$ (точки, де визначається температура, знаходяться на передній поверхні, а джерела – на задній, функція T_{2mijk}), то підставляється $\Delta l_{pm} = \Delta l_{1m}$; $\lambda_j = 0; \gamma_{jk} = 90^\circ$ і приймається $Y = -Y$;

в) якщо $k = 1 \dots N_1; i = (N_1 + 1) \dots 2N_1$ (точки, де визначається температура, знаходяться на задній поверхні, а джерела – на передній, функція T'_{1mijk}), то підставляється $\Delta l_{pm} = \Delta l_{2m}$; $\gamma_{mi} = 90^\circ$.

г) якщо $k = (N_1 + 1) \dots 2N_1; i = (N_1 + 1) \dots 2N_1$ (точки, де визначається температура, і джерела знаходяться на задній поверхні, функція T'_{2mijk}), то підставляється $\Delta l_{pm} = \Delta l_{2m}$; $\lambda_j = 0$; $\gamma_{mi} = \gamma_{jk} = 90^\circ$.

Проведемо ці викладки для випадку круглої різальної пластинки діаметром d із позитивним заднім кутом (див. рис.1). Вона розміщується у корпусі різця під кутом $\lambda=0$, тобто площина кругової різальної кромки перпендикулярна напрямку швидкості різання. Оброблення проводиться з глибиною t і поздовжньою подачею S . Вся активна довжина різальної кромки АО розбивається на K_θ ділянок, що представляють собою прямокутні джерела тепловиділення розмірами: на передній поверхні $2\Delta b \times l_1$ і на задній - $2\Delta b \times l_2$. Задача полягає у визначенні координат центрів елементарних джерел X_{ij} і Z_{ij} в абсолютній системі координат $X_{ij}OZ_{ij}$, пов'язаною із пластинкою, а також товщини зрізуваного шару в напрямку сходження стружки.

Центральний кут θ_0 активної довжини кругової різальної кромки дорівнює:

$$\theta_0 = \arccos(1 - 2t / d).$$

Ввівши K_θ ділянок різальної кромки, одержуємо центральний кут кожної ділянки:

$$\Delta\theta_0 = \theta_0 / K_\theta \text{ і її ширину } 2 \cdot \Delta b = \Delta\theta_0 \cdot d / 2.$$

Для кожної j -ї системи координат ділянки різальної кромки ($j = 1 \dots K_\theta$) визначається центральний кут центру цієї системи:

$$\theta_j = \theta_0 - \Delta\theta_0(j - 0,5),$$

і його координати в системі $X_{ij}OZ_{ij}$:

$$X_{ij} = \frac{d}{2}(1 - \cos \theta_j);$$

$$Z_{ij} = \frac{d}{2} \sin \theta_j.$$

Центр цієї системи знаходиться на мінімальному діаметрі заготовки в точці О, а діаметр заготовки d_j в j -й точці дорівнює:

$$d_j = d_0 + 2x_{ij},$$

де d_0 - діаметр заготовки в точці О.

Товщина зрізуваного шару a_{cj} в напрямку сходження стружки визначається із нескладних геометричних побудов:

$$a_{cj} = S \cdot \sin \theta_j / \cos \left(\theta_j - \frac{\theta_0}{2} \right).$$

Висновки

В роботі представлена загальна методика розрахунку відносних координат точки, де розраховується температура на контактній поверхні інструмента, і елементарних теплових джерел, що діють на передній чи задній поверхні різального леза. Приймається, що температура у будь-якій точці є сумою температур, які

створюються в цій точці кожним із елементарних джерел. Особливості розрахунку для конкретної форми різальної кромки полягає у визначенні координат центра кожного джерела. В роботі показані особливості застосування загальної методики для круглих різальних пластинок.

Література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-є вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.
2. Криворучко Д. В. Основы прогнозирующего моделирования процессов резания методом конечных элементов: Дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 . – Харьков, 2010. – 448 с.
3. Oxley P. Development and application of a predictive machining theory// Annals of the CIRP. - 1998. - Vol. 47/1.- P.- 11/KP-11/KP-19.
4. Клущин М.И. Алгоритмы расчета сил и скоростей резания //Труды Проектно-технологического и научно-исследовательского института. - Горький: ВВСНХ, 1963.-Вып.2. - С.121-152.
5. Силин С.С. Метод подобия при резании металлов. - М.: Машиностроение, 1979. -152 с.
6. Петрухин С.С., Мазур Н.П. Применение метода ортогонального проектирования для определения профиля детали при обработке дисковым инструментом// Исследования в области инструментального производства и обработки металлов резанием. - Тула: ТПИ, 1980. - С. 5-10.
7. Мазур Н.П. Разработка теоретических основ и практическое использование термомеханической модели обработки пластических материалов: дис.докт.техн.наук : 05.03.01 : защищена 22.11.1999 : утв. 9.02.2000. К., 1999. 309 с.

References

1. Mazur M.P. Osnovy teorii rizannja materialiv : pidruchnyk [dlja vyssh. navch. zakladiv] / M.P. Mazur, Ju.M. Vnukov, A.I.Ghrabchenko, V.L. Dobroskok, V.O. Zaloha, Ju.K. Novosjolov, F.Ja. Jakubov ; pid zagh. red. M.P. Mazura. – 3-є vyd. pererob. i dop. – Ljviv : Novyj svit–2000, 2018. – 471 s.
2. Kryvoruchko D. V. Osnovy prohnozyrujushhegho modelyrovanyja processov rezanyja metodom konechnykh elementov: Dys. ... dok. tekhn. nauk : 05.03.01 . – Kharjkov, 2010. – 448 s.
3. Oxley P. Development and application of a predictive machining theory// Annals of the CIRP. - 1998. - Vol. 47/1.- P.- 11/KP-11/KP-19.
4. Klushyn M.Y. Alghorytmy rascheta syl y skorostej rezanyja //Труды Проектно-технологического y nauchno-ysledovateljskogho ynstituta. - Ghorjkyj: VVSNKh, 1963.-Вып.2. - S.121-152.
5. Sylyn S.S. Metod podobyja pry rezanyu metallov. - M.: Mashynostroenye, 1979. -152 s.
6. Petrukhn S.S., Mazur N.P. Prymenenye metoda ortogonaljnogho proektyrovanyja dlja opredelenyja profylja detaly pry obrabotke dyskovym ynstrumentom// Yssledovanyja v oblasti ynstrumentaljnogho proyzvodstva y obrabotky metallov rezanyem. - Tula: TPY, 1980. - S. 5-10.
7. Mazur N.P. Razrabotka teoretycheskykh osnov y praktycheskoe yspoljzovanye termomekhanicheskoj modely obrabotky plastycheskykh materyalov: dys.dokt.tekhn.nauk : 05.03.01 : zashhyshhena 22.11.1999 : utv. 9.02.2000. K., 1999. 309 s.

Надійшла / Paper received : 11.12.2020 р. Надрукована/Printed :04.01.2021 р.