

Далее исследовали влияние на КМ способа обработки формообразующего материала одновременно магнитным полем и давлением.

В результате выполненного исследования следует отметить преимущество КМ, прошедших магнитную обработку и обработку давлением. В таких КМ образуется упорядоченная цепочка из металлического наполнителя, что улучшает однородность материала, механические и прочностные свойства, а также теплофизические свойства материала, теплопроводность и высоконаполненного материала повышается в 4 раза. А электропроводность в разы.

Следует отметить, что обработка давлением дает увеличение прочности на 3 – 10 %, но способствует более компактной упаковки наполнителя в матрице и более упорядоченной структуре.

Выводы.

1. Разработана технология изготовления композиционного материала на основе эпоксидной смолы, металлической стружки и стабилизированного кремнезема под действием магнитного поля.
2. Установлено влияние количественного состава наполнителя, температуры, технологии приготовления, на физико-механические характеристики КМ на основе стабилизированного кремнезема и эпоксидной смолы с металлическим дисперсным порошком.

Література

1. Иванова Л.А. Пластмассы холодного отверждения и их использование в пищевой промышленности [Текст] / Гараев М.Б. // «Наукові праці» Вып. 38. Том 2, Одесса: – 2010. – С. 412.
2. Башкирцев В.И. Использование полимерных материалов при ремонте машин и оборудования [Текст] // Пищевая промышленность – 2006. – №1. – С. 22.
3. Чайников Н.А. Ресурсосберегающие технологии изготовления металлополимерных материалов [Текст] / Беляев П.С., Мозжухин А. // Тамбов: ТГТУ. – 2003. – С. 33, 35.
4. Ищенко А.А. Технология восстановления изношенных и дефектных деталей с помощью полимерных материалов [Текст] // Сварщик №6 2004. – С. 12.
5. Иванова Л.А. Композиционные материалы. [Текст] / Сергеева А.Е. Косицин Н.О.// Одесса: Полиграф – 2010. – С. 33
6. Справочник по композиционным материалам [Текст] // Под ред. Дж. Любина (пер. с англ.).- М.: Машиностроение, 1988. – т. 1. – 177с.
7. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров [Текст] // – М: Химия. – 1977. – С. 207, 306, 307.
8. Ищенко А.А. Новые технологии и материалы для восстановления дефектных отливок [Текст] / Патко Д., Молнар Л. // Сварщик №4. – 2005. С.22.

УДК 621.9.01

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ ПРИ НАГРІВАННІ І ОХОЛОДЖЕННІ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

Ліщенко Н.В., канд. техн. наук, асистент

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Ларшин В.П., д-р техн. наук, професор

Одеський національний політехнічний університет

Розроблено математичну модель температурного поля при шліфуванні, яка дозволяє виконувати розрахунки на етапах нагрівання і охолодження поверхні, яка обробляється.

Grinding temperature model is developed and suitable to calculate the temperature as for work surface heating as for cooling one.

Ключові слова: шліфування, температурне поле, граничні умови, нагрівання і охолодження заготовки.

Процеси механічної обробки матеріалів різанням і шліфуванням супроводжуються нестационарними тепловими полями, які впливають на фізико-механічний стан поверхні, що обробляється на етапах її нагрівання і охолодження. Наприклад, залежно від швидкості охолодження при чорновому шліфуванні утворюються припіки вторинного загартування (при високих градієнтах температури) або відпуску (при

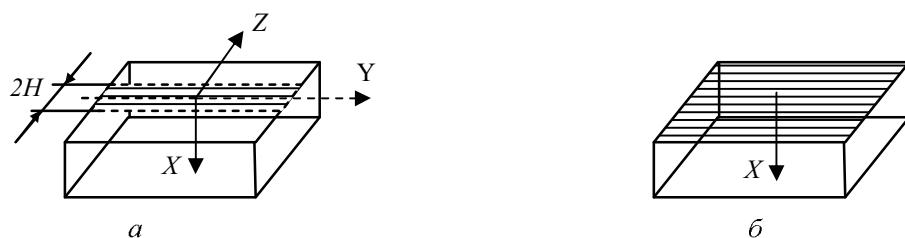
менших градієнтах температури). Для прогнозування стану поверхневого шару може бути використана технологічна теплофізика, розроблена в працях проф. Якимова О.В. і проф. Сипайлова В.А. [1]. Основні положення цієї наукової дисципліни засновані на практичному застосуванні аналітичної теорії тепlopровідності.

У цій теорії тепlopровідності прийнято розрізняти початкові і граничні умови, що дозволяють визначати температурне поле в зоні різання з урахуванням її геометричної форми та форми заготовки. При розв'язанні задачі визначення температурного поля можливі такі основні види граничних умов [2]:

- відома температура поверхні (постійна або змінна в часі) – ГУ першого роду;
- відомий тепловий потік на поверхні (постійний або змінний) – ГУ другого роду;
- на поверхні розділу задано теплообмін за законом Ньютона-Ріхмана – ГУ третього роду.

9. Стосовно до шліфування деталей машин теплову ситуацію від взаємодії інструмента і заготовки, яка обробляється, характеризують (описують математично) двома методами відповідно при розв'язанні двох- і одновимірної задачі тепlopровідності.

Відповідно до першого методу рухливе смугове джерело (рис.1,а) рухається в позитивному напрямку осі Z зі швидкістю v .



a, б – рухоме смугове джерело в двовимірній тепловій задачі і нерухоме смугове джерело в одновимірній задачі, відповідно

Рис. 1 – Схема джерела (у заштрихованій зоні наявні ГУ другого роду)

При цьому наявні неоднорідні граничні умови: під джерелом – ГУ другого роду, поза джерелом – ГУ третього роду. Зміна ГУ відбувається по координаті Z в рухливій системі координат, пов'язаній з тепловим джерелом. При $|Z| \leq H$ і $|Z| > H$ мають місце ГУ другого та третього роду, відповідно. Таким чином, зміна просторової координати Z приводить до зміни роду ГУ.

У відповідності з другим методом поверхня, яка обробляється, розглядається як поверхня розділу двох середовищ, між якими виділяється тепловий потік. При цьому ділянка заготовки, яка обробляється, належить напівобмеженому твердому тілу. Верхнє середовище є матеріалом абразивного інструмента, а нижня – матеріалом, який обробляється (рис.1,б).

Для цього випадку тепловий процес представляється послідовними етапами в часі: виділення теплової енергії в зоні різання (ГУ другого роду) і охолодження (ГУ третього роду) обробленої (нагрітої) поверхні за рахунок теплообміну з повітрям («сухе» шліфування) або з мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР). Таким чином, процес шліфування характеризується дискретною зміною роду ГУ в часі: спочатку діють ГУ другого роду, потім – ГУ третього роду. Тому для аналітичного рішення теплової задачі з'являється можливість описувати температурне поле роздільно в часі для зазначених етапів.

На першому етапі визначають температуру на поверхні і по глибині поверхневого шару залежно від часу нагрівання, що відрічується від моменту часу зіткнення рухливого теплового джерела з розглянуту точкою поверхні до моменту часу втрати цього зіткнення. Цей час дорівнює відношенню довжини теплового джерела ($2H$) до швидкості його переміщення. У момент закінчення етапу нагрівання фіксують розподіл температури $f(x, y, z)$ в обсязі заготовки. Наприклад, стосовно до одновимірної задачі (лінійний тепловий потік за Егером Д.) фіксують розподіл температури по глибині поверхневого шару $f(x)$.

На другому етапі визначають температурне поле в обсязі заготовки з урахуванням початкового розподілу температури $f(x, y, z)$ в умовах теплообміну поверхні, яка обробляється, з навколошнім середовищем (МОР). На цьому етапі час t теплового процесу відрічується від моменту закінчення етапу нагрівання.

Теплообмін (нагрітої на першому етапі поверхні) з навколошнім середовищем (МОР) характеризується законом Ньютона-Ріхмана і описується рівнянням [3]

$$q_{\text{окл}} = \alpha [T(t) - T_c], \quad (1)$$

де $q_{\text{окл}}$ – щільність теплового потоку, спрямованого із заготовки в МОР, Вт/м²;

α – коефіцієнт теплообміну (тепlopередачі), Вт/(м² · °C);

$T(t)$ – температура поверхні, придана на етапі нагрівання і зменшувана в часі t на етапі охолодження, °C; T_c – температура охолоджувального середовища (МОР), °C.

Складність завдання визначення нестационарного температурного поля на етапі охолодження обумовлюється мінливістю температури поверхні $T(t)$ і невизначеністю коефіцієнта α , що визначають експериментально. У вітчизняній літературі задача визначення температурного поля на етапі охолодження розв'язана тільки для постійних (у часі) температур $T(t)$ і T_c [3]. У загальному випадку температура T_c може бути змінною і описуватися залежностями $T_c = \phi(x, y, z, t)$ та $T_c = \phi(x, t)$ для тривимірної одновимірної задачі, відповідно [2], тому що теплообмін відбувається на поверхні, тобто при $x = 0$ для одновимірної задачі $T_c = \phi(t)$.

Задача визначення температурного поля на етапах нагрівання і охолодження найбільш повно розв'язана Сипайлівим В.А. [1] для двох просторових координат (x, z) і однієї тимчасової координати t (рис.1, а). При цьому інженерний розв'язок отримане без обліку охолодження теплообміном і має такий вигляд

$$T(Z, X) = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) K_o\left(\sqrt{X^2 + \xi^2}\right) d\xi + T_0, \quad (2)$$

де q – інтенсивність теплового потоку, Вт/м²;

a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

λ – коефіцієнт тепlopровідності, Вт·м·°C;

V – швидкість руху джерела в напрямку осі Z , м/с;

K_o – модифікована функція Беселя другого роду нульового порядку.

Рівняння (2) складено щодо безрозмірних комплексів $\xi = \frac{V(z-z')}{2a}$; $X = \frac{V \cdot x}{2a}$; $Z = \frac{V \cdot z}{2a}$; $H = \frac{V \cdot h}{2a}$.

При цьому передбачається, що закон руху джерела тепла заданий у вигляді $z = z' - Vt$ (z' – додаткова змінна; h – напівширина джерела тепла, м).

Аналогічний розв'язок отриманий в роботі [2] для рухливого смугового джерела.

Потім Сипайлівим В.А. була зроблена спроба врахувати охолоджувальну дію зовнішнього середовища (МОР) при тій же двовимірній постановці задачі. Однак у цьому випадку розв'язок вийшов досить складний [1], тому були запропоновані прийоми, що спрощують його. Отриманий при цьому остаточний розв'язок має ряд недоліків: один із множників залежить від середньоінтегрального значення температури під джерелом; не враховується температура охолоджувального середовища; для визначення температури потрібні таблиці з попередньо розрахованими дискретними значеннями певних інтегралів.

Завдання статті – на основі аналізу наявних теплофізичних розв'язків розробити математичну модель температурного поля при шліфуванні для етапів нагрівання і охолодження поверхні, яка обробляється.

У роботі [4] досліджувалося питання про ідентичність одно- і двовимірного розв'язків відповідних диференціальних рівнянь тепlopровідності на етапі нагрівання (по схемах на рис.1,а і рис.1,б). Одновимірний розв'язок для етапу нагрівання має вигляд [4]

$$T_h = 2\pi\sqrt{H} \operatorname{erfc} \frac{X}{2\sqrt{H}} \cdot \frac{2 \cdot q \cdot a}{\pi \cdot \lambda \cdot V}, \quad 0 \leq H \leq H_{\max} \quad (3)$$

Встановлено, що в інтервалі $4 \leq H \leq 20$ при розрахунку максимальних температур на поверхні і по глибині дворазового спаду температури розв'язкі (2) і (3) дають результати, що відрізняються не більше ніж на 5 %. Це дозволяє припустити, що на етапі охолодження також можна користуватися одновимірним розв'язком, що при відсутності охолоджувального середовища (охолодження за рахунок тепlopровідності) має вигляд [4]

$$T_{\text{окл}} = 2\pi \left\{ \sqrt{H} \operatorname{erfc} \frac{X}{2\sqrt{H}} - \sqrt{H - H_{\max}} \operatorname{erfc} \left(\frac{X}{2\sqrt{H - H_{\max}}} \right) \right\} \cdot \frac{2 \cdot q \cdot a}{\pi \cdot \lambda \cdot V} \quad (4)$$

$$H_{\max} \leq H < \infty$$

У свою чергу, одновимірний розв'язок, що дозволяє визначати температурне поле на поверхні і по глибині на етапі охолодження при наявності охолоджувального середовища (МОР) з температурою $\varphi(\tau)$ і коефіцієнті теплообміну α отриманий Карслу Г. і Егером Д. [2] за рахунок знаходження відповідної функції Гріна при змінних $T(t)$ і T_c . Зазначена функція є температурою в точці (x, y, z) в момент часу t , обумовленою дією миттевого точкового джерела одиничної потужності, яка розташована в точці (x', y', z') в момент часу τ за умови, що початкова температура заготовки, дорівнює нулю, а її поверхня підтримується при нульовій температурі [2].

Стосовно до лінійного (одновимірного) теплового потоку, тобто для функції Гріна $u(x, x', t - \tau)$ температурне поле на етапі охолодження виражається залежністю [2]

$$T_{oxl}(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} (u)_{\tau=0} \cdot f(x') dx' + a \int_0^t \varphi(\tau) \frac{\partial u}{\partial n} d\tau, \quad (5)$$

де $\varphi(\tau)$ – температура МОР, що змінюється в часі.

У цій формулі нормаль n збігається за напрямком з координатою x .

Карслу Г. і Егером Д. знайдена функція Гріна $(u)_{\tau=0}$ та шляхом перетворення залежності (5) отримано такий вираз

$$\begin{aligned} T_{oxl} = & \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a \cdot t}} \left\{ \exp\left(-\frac{(x-x')^2}{4at}\right) + \exp\left(-\frac{(x+x')^2}{4at}\right) \right\} - h \exp(a \cdot t \cdot h^2 + h(x+x')) \times \right. \\ & \times \Phi^* \left(\frac{x+x'}{2\sqrt{a \cdot t}} + h\sqrt{a \cdot t} \right) \cdot f(x') dx' + a \cdot h \int_0^t \left(\frac{\exp\left(-\frac{x^2}{4a(t-\tau)}\right)}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot (t-\tau)}} - h \exp(a \cdot h^2(t-\tau) + h \cdot x) \times \right. \\ & \times \left. \Phi^* \left(\frac{x}{2\sqrt{a(t-\tau)}} + h\sqrt{a(t-\tau)} \right) \right) \varphi(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{Тут } f(x') = \frac{2q \cdot \sqrt{a \cdot t_1}}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x'^2}{4a \cdot t_1}\right) - \frac{x'}{2\sqrt{a \cdot t_1}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x'}{2\sqrt{a \cdot t_1}}\right) \right] + T_0,$$

$$\Phi^*(y) = \operatorname{erfc}(y);$$

t – час охолодження, с;

t_1 – час нагрівання, с;

$$h \text{ – приведений коефіцієнт теплообміну, } h = \frac{\alpha}{a};$$

T_0 – вихідна температура оброблюваного матеріалу, °C.

Дане рівняння дозволяє досліджувати температурне поле на поверхні і по глибині поверхневого шару залежно від часу охолодження, що відлічується від закінчення часу нагрівання. У літературі дане рівняння дотепер не досліджено і відсутні рекомендації щодо його застосування.

На рисунках 1 – 4 показано розподіл температурного поля по глибині поверхневого шару залежно від часу охолодження в інтервалі цього часу $0,000005 \leq t \leq 0,2$ с при температурі матеріалу, який обробляється $T_0 = 0^\circ\text{C}$, і температурі охолоджувального середовища $\varphi(\tau) = 20^\circ\text{C}$. Розрахунки виконано в середовищі MathCAD .

На рис.2: час охолодження $t = 0,000005$ с, час нагрівання $t_1 = 0,1$ с; верхня межа інтегрування $2 \cdot 10^{-3}$ м; інтервал зміни змінної x становить 0...1 мм. Видно, що при $t = 0,000005$ с, тобто на самому початку етапу охолодження розподіл температури по глибині збігається з аналогічним розподілом температури, отриманим за рівнянням (3) наприкінці етапу нагрівання. Цей збіг є підтвердженням правильності формули (6), оскільки початок етапу охолодження та кінець етапу нагрівання супроводжуються тим самим розподілом температури по глибині поверхневого шару і однієї й тією ж поверхневою температурою в цей момент часу.

На рис.3: час охолодження $t = 0,05$ с, час нагрівання $t_1 = 0,1$ с; верхня межа інтегрування $4 \cdot 10^{-3}$ м; інтервал зміни змінної x становить 0...5 мм.

На рис.4: час охолодження $t = 0,1$ с, час нагрівання $t_1 = 0,1$ с; верхня межа інтегрування $3 \cdot 10^{-3}$ м; інтервал зміни змінної x 0...5 мм.

На рис.5: час охолодження $t = 0,2$ с, час нагрівання $t_1 = 0,1$ с; верхня межа інтегрування $4 \cdot 10^{-3}$ м; інтервал зміни змінної x 0...5 мм. На рис.4 видно, що при часі охолодження $t = 0,2$ с температура на поверхні зменшується від $415,503^{\circ}\text{C}$ до $211,054^{\circ}\text{C}$.

На рисунках 2 – 5 видно, що температура глибинних шарів зменшується з повільнішою швидкістю. У результаті залежності $T_{oxl} = f(x, 0,05c)$, $T_{oxl} = f(x, 0,1c)$, $T_{oxl} = f(x, 0,2c)$ на рисунках 3, 4 і 5 набувають максимальних значень при $x = 0,25 \cdot 10^{-3}$ мм, $x = 0,35 \cdot 10^{-3}$ мм і $x = 0,55 \cdot 10^{-3}$ м, відповідно. Видно також, що в глибинних шарах матеріалу (незалежно від температури охолоджувального середовища) температура прагне до нульового значення, оскільки на етапі нагрівання вихідна температура матеріалу, який обробляється, дорівнювала нулю, тобто $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

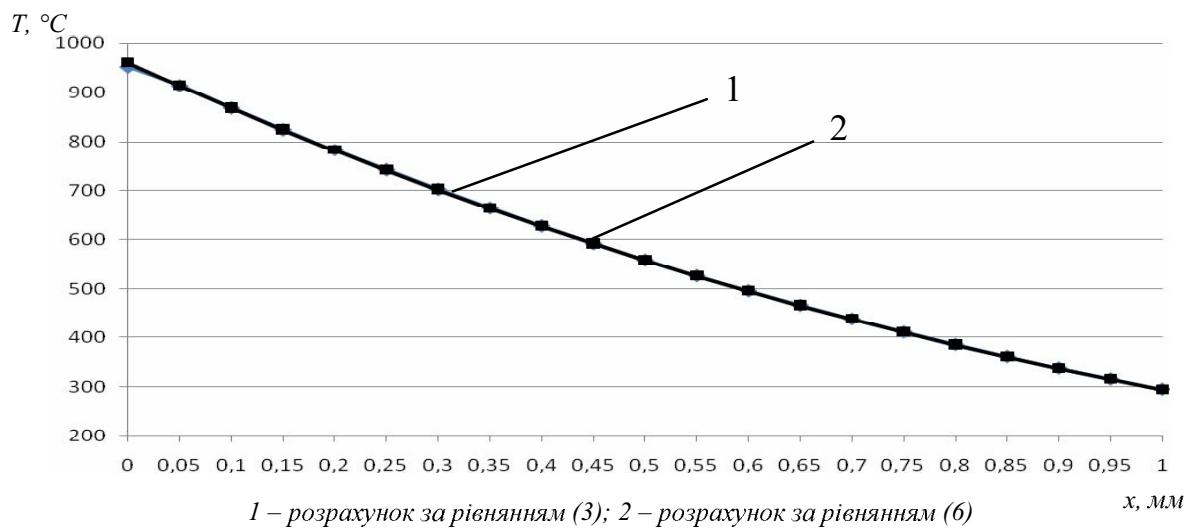


Рис. 2 – Розподіл температури по глибині поверхневого шару при $t = 0,000005$ с, $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$

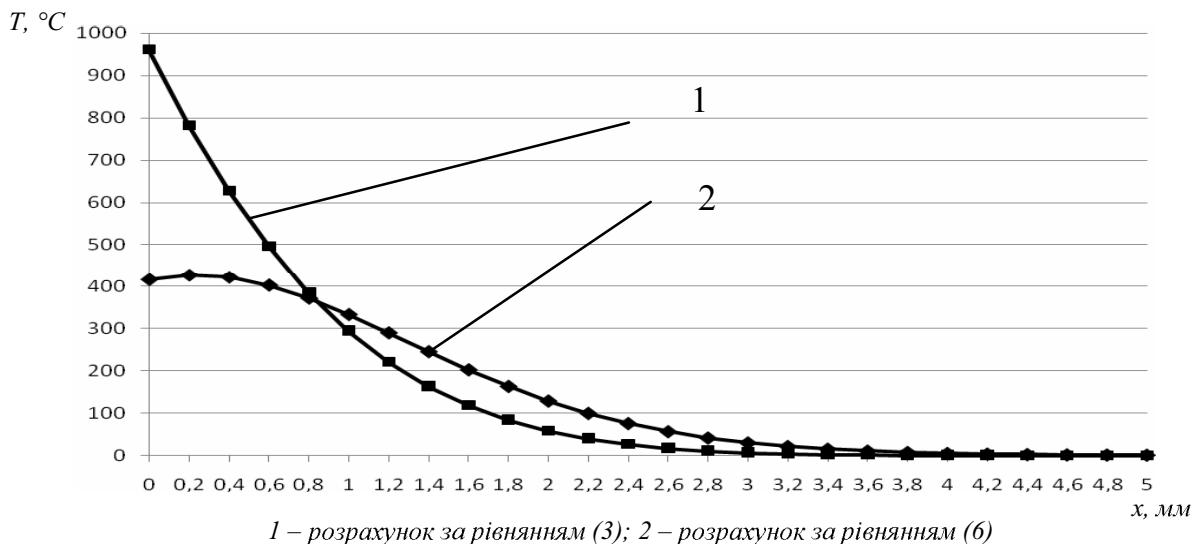


Рис. 3 – Розподіл температури по глибині поверхневого шару при $t = 0,05$ с, $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$

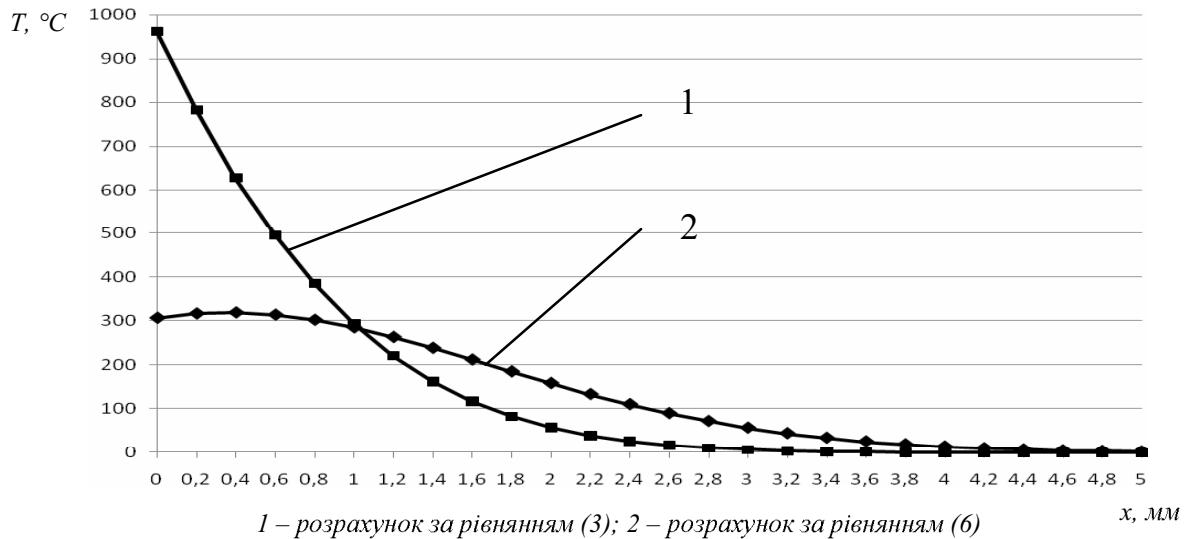


Рис. 4 – Розподіл температури по глибині поверхневого шару при $t = 0,1 \text{ с}$, $T_0 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

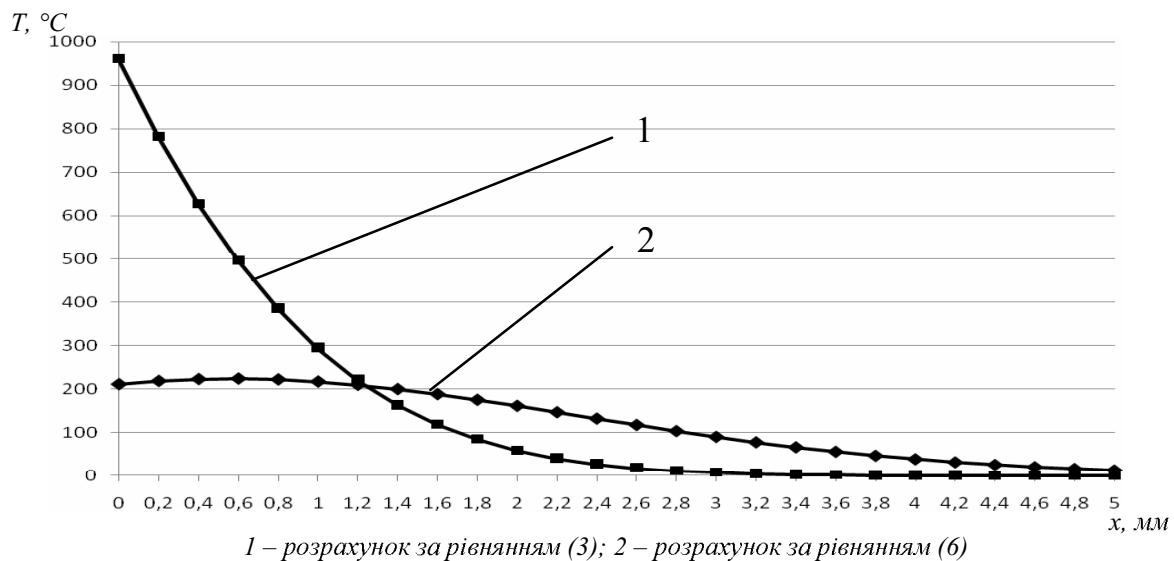


Рис. 5 – Розподіл температури по глибині поверхневого шару при $t = 0,2 \text{ с}$, $T_0 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 6 показано залежність $T_{\text{окл}} = f(x, 0,2 c)$ при вихідній температурі матеріалу на етапі нагрівання $T_0 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для цього випадку формула (3) на етапі нагрівання (крива 1 на рис. 6) має додатковий доданок 40^0C , тобто формула (3) у розмірному вигляді може бути записана як

$$T = \frac{2q\sqrt{a\tau}}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau}\right) - \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) \right) + 40^0\text{C} \quad (7)$$

На рис. 6: час охолодження $t = 0,2 \text{ с}$, час нагрівання $t_1 = 0,1 \text{ с}$; верхня межа інтегрування $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; інтервал зміни змінної x $0 \dots 5 \text{ мм}$.

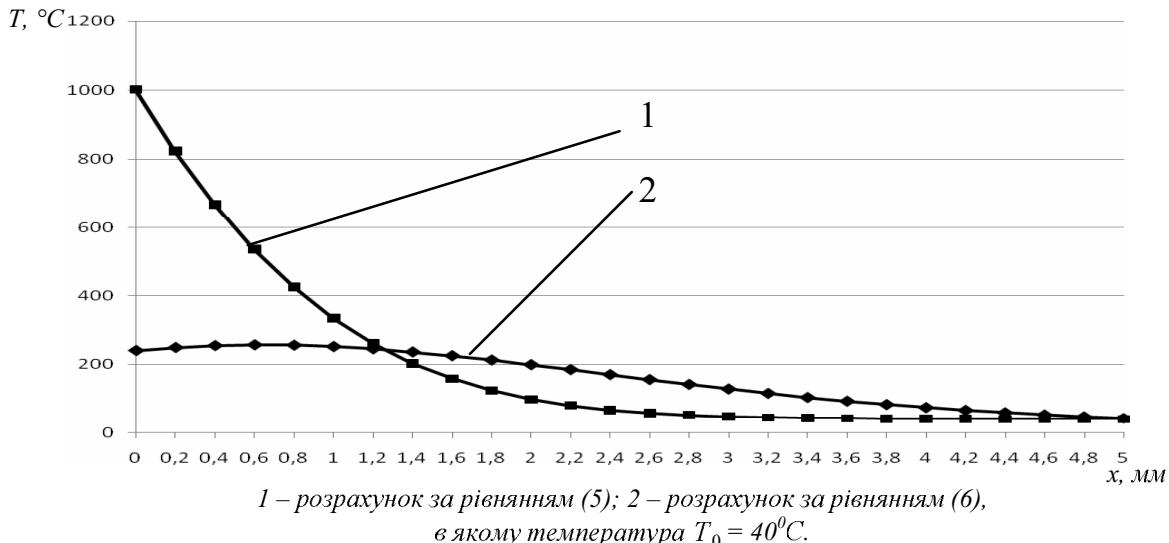


Рис. 6 – Розподіл температури по глибині поверхневого шару при $t = 0,2 \text{ с}$, $T_0 = 40 \text{ °C}$

На рис. 6 видно, що температури глибинних шарів (при $x > 5\text{мм}$) оброблюваного матеріалу на початку (крива 1, отримана на етапі нагрівання) і наприкінці (крива 2) етапу охолодження однакові і рівні 40 °C .

Висновки

1. Встановлено математичну модель для температурного поля для ділянок нагрівання і охолодження, яка розглядається послідовно в часі при граничних умовах другого та третього роду.

2. Аналіз рівняння (6) показав, що це рівняння досить коректно описує процес охолодження поверхневого шару заготовки. На відміну від аналогічного двовимірного рішення Сипайлова В.А. [1] це рівняння можна з меншою трудомісткістю використовувати в інженерних розрахунках і для керування процесом формування фізико-механічного стану поверхневого шару. За цим рівнянням можна аналітично знаходити градієнти температурного поля по глибині поверхневого шару і за часом.

3. На відміну від аналогічного двовимірного рішення Сипайлова В.А. [1], рівняння (6) містить такі додаткові змінні як вихідну температуру оброблюваного матеріалу (T_0) і температуру охолоджувально-го середовища (T_c), які суттєво впливають на процес охолодження і можуть змінюватися в часі. Отже, ці параметри можна використовувати для вивчення процесу шліфування та керування ним.

Література

- Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
- Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
- Лыков А.И. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
- Шаршин В.П., Ковальчук Е.Н., Якимова А.В. Применение решений теплофизических задач к расчету температуры и глубины дефектного слоя при шлифовании // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении. – Пермь: Изд. Перм. политехн. ин-та. – 1986. – С.9-16.

УДК: 641.528.6

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЗАМОРОЖУВАННЯ

Потапов В.О., д-р. техн. наук, професор, Семенюк Д.П., канд. техн. наук, доцент
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків

Отримано наближене рішення динаміки процесу охолодження тіл довільної форми в процесі заморожування, яке дозволяє розраховувати тривалість процесу з урахуванням тепlopідведення від центральної частини тіла, яка має температуру вищу за криоскопічну.