

УДК 621.791

Михаць А. – ст. гр. МП-21

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ ВИБОРУ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ НА ТОЧНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗМІРІВ ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

Науковий керівник: к.т.н, доцент Лазарюк В.В.

Mykhats A.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

INFLUENCE OF CALCULATION SCHEME ON HEAT-AFFECTED ZONE SIZE PREDICTION

Supervisor: Lazaryuk V.

Класичні аналітичні моделі джерел тепла, що базуються на спрощених розв'язках рівняння теплопровідності для ідеалізованих тіл. До них належать моделі рухомого точкового або лінійного джерела тепла, де зварюваний виріб замінюється напівобмеженим тілом або пластиною з постійними теплофізичними властивостями. У таких підходах теплове поле визначається через аналітичні залежності, що дозволяє швидко оцінити температурний розподіл і приблизні розміри зони термічного впливу. Однак головним джерелом похибки є саме спрощення геометрії та ігнорування впливу товщини: наприклад, використання моделі напівобмеженого тіла для пластини призводить до систематичного завищення або заниження ширини ЗТВ, оскільки реальні теплові потоки в товщині не враховуються.

Для розв'язання диференційного рівняння теплопровідності при зварюванні в класичному підході застосовують метод джерел тепла з відповідними крайовими умовами, що враховують початковий температурний стан тіла та умови теплообміну з навколишнім середовищем. У типових розрахунках використовують моделі напівобмеженого тіла, пластини або плоского шару, що дозволяє отримати аналітичні залежності температурного поля, але водночас формує систематичну похибку при відхиленні реальних умов від прийнятої схеми.

Критерії вибору розрахункової схеми зварюваного тіла на основі співвідношення глибини провару h до товщини пластини d ($h/d < 1/10$; $1/10 \dots 2/3$; $> 2/3$) мають не строгий аналітичний, а інженерно-апроксимаційний характер. Їх фізична сутність полягає у співвідношенні характерної глибини поширення теплового поля та товщини виробу. Наприклад, при $h/d < 1/10$ теплове поле локалізується поблизу поверхні, а вплив протилежної поверхні пластини є незначним, що дозволяє розглядати тіло як напівобмежене.

Для попередньої оцінки глибини проплавлення доцільно використовувати ізотерму, що відповідає температурі плавлення сталі, зокрема температурі солідусу або ліквідусу. За положенням цієї ізотерми визначають глибину проплавлення h та співвідношення h/d , що дозволяє обґрунтовано обрати розрахункову схему тіла. Такий підхід забезпечує більш коректне визначення області високих температур у порівнянні з використанням умовних температурних критеріїв, оскільки саме зона плавлення визначає межі інтенсивного теплового впливу.

Схема рухомого точкового джерела тепла на поверхні напівобмеженого тіла з адіабатичною границею використовується для випадку дугового наплавлення на

масивні деталі. Температурне поле при цьому описують залежністю:

$$T = T_c + \frac{q}{2\pi \cdot \lambda \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} e^{-\frac{V}{2a} \cdot (\sqrt{x^2 + y^2} + x)}$$

, де q – ефективна теплова потужність джерела, Вт; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт / м·К; V – швидкість переміщення джерела нагрівання, м/с; a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; x – абсциса точки в рухомій системі координат, y – ордината точки в рухомій системі координат; T , T_c – температура на поверхні тіла та температура середовища.

Схема рухомого лінійного джерела тепла з тепловіддачею застосовується у випадку малопотужного зварювання тонких пластин з повним проплавленням за один прохід. Температурне поле при цьому описують залежністю із застосуванням функції Бесселя:

$$T = T_c + \frac{q}{2\pi \lambda \delta} \exp\left(-\frac{Vx}{2a}\right) K_0\left(r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}\right)$$

, де T – температура в точці з координатами $x, r = \sqrt{x^2 + y^2}$; x, y – відповідно абсциса й ордината точки в декартовій системі координат, центр якої збігається з джерелом зварювального нагріву, м; δ – товщина пластини, м;

K_0 – функція Бесселя II-ого роду нульового порядку та її аргумент $r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}$; $b = \frac{2\alpha}{2\gamma\delta}$ – коефіцієнт температуровіддачі, що враховує тепловіддачу з поверхонь пластини в навколишнє середовище, с-1; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); γ – об'ємна теплоємність, Дж/(м³·К).

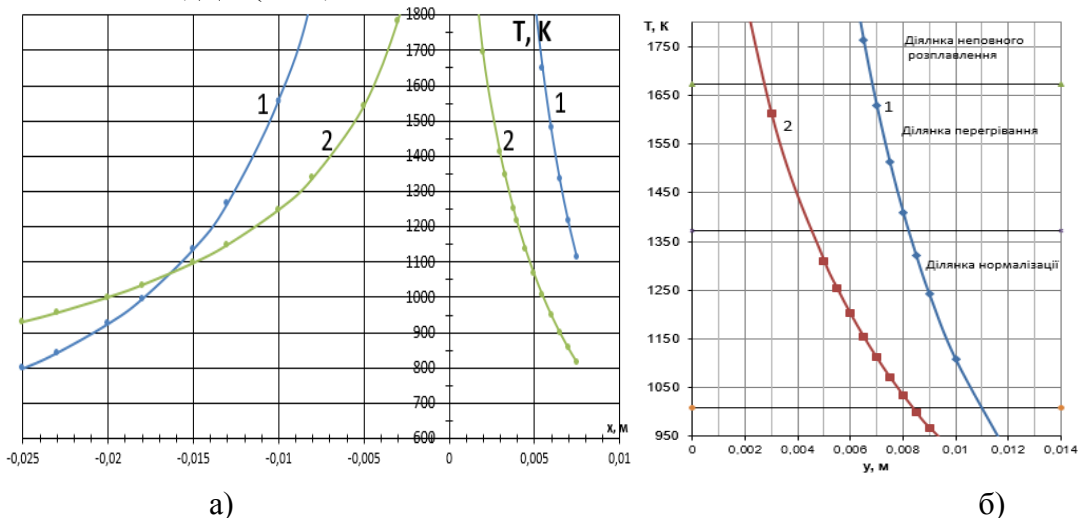


Рисунок 1 – Розподіл температур в граничному стані вздовж осі (а) та у поперечному січенні (б) при русі точкового джерела тепла на поверхні напівбезкінечного тіла (1) та при русі лінійного джерела тепла на поверхні пластини (2) із сталі 20 товщиною 20 мм при режимі зварювання $q = 3,3$ кВт, $V = 3$ м/год.

Для демонстрації похибки вибору розрахункової схеми виконано порівняльні розрахунки температурного поля для двох схем, рисунок 1. Для кожного випадку для однакових режимів зварювання розраховано розподілення температур вздовж осі та у поперечному перерізі пластини товщиною 20 мм. На рисунку 1б приведено також межі ділянок зони термічного впливу. Розрахунок розподілу температур у поперечному січенні для схеми лінійного джерела тепла на поверхні пластини показує значну похибку ширини зони нагрівання у області ЗТВ (більше 30%), що не дозволяє використовувати дану схему для прогнозування глибини проплавлення та розмірів ділянок зони термічного впливу.