

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторної роботи № 18

з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів напряму  
підготовки 6.050504 «Зварювання» для всіх форм навчання

2016

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 18 з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» для всіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. - 10 с\*.

Укладач: О.Є. Капустян, ст. викладач  
Рецензент: А.О. Шумілов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол № 8 від 1.06.2016

Затверджено  
на засіданні НМК ІФФ  
Протокол № 10 від 21.06.2016

\* Методичні вказівки складено на основі «Методичних вказівок до виконання лабораторних занять з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів спеціальності: 6.092301 для всіх форм навчання / Укл.: Ю.М. Ткаченко»

**ЗМІСТ**

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....	4
3 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ .....	8
4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	8
5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ .....	9
7 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ .....	10
ЛІТЕРАТУРА .....	10

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ ТЕРМІЧНОГО ЦИКЛУ НАГРІВУ ТА ОСТИГАННЯ МЕТАЛА ПРИ ЗВАРЮВАННІ

## 1 МЕТА РОБОТИ

Експериментальне вимірювання температур при зварюванні на осі шва та зоні термічного впливу, освоєння розрахунків температурних полів на ЕОМ та їх побудови на площині та у перерізах.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При зварюванні інтенсивний нагрів відбувається в зонах, прилеглих до шву. Безпосередньо у осі шва зварюваний метал розплавляється і, змішуючись з електродним металом, утворює зварювальну ванну, метал якої нагрівається до температур 1900-2000° С.

Безпосередньо у лінії сплавляння зварюваний метал нагрівається до температури плавлення. Більш віддалені точки нагріваються менше. Зони металу, що нагріваються вище 723°, зазнають структурні перетворення, утворюючи так звану зону термічного впливу.

Термічний цикл зварювання різко відрізняється від простого термічного циклу звичайної термічної обробки. Термічний цикл зварювання характеризується:

- швидким нагріванням металу до температури плавлення (для точок, що лежать у лінії сплавляння);
- малою тривалістю нагрівання до високих температур;
- швидким охолодженням металу від високих температур зі зменшенням швидкості охолодження в міру падіння температури;
- зменшенням максимальної температури нагріву в міру віддалення від осі шва.

Найбільші структурні зміни, що зварюється відбуваються

безпосередньо біля лінії сплаву, де метал нагрівається до температури плавлення. У цих точках відбувається значний перегрів металу, що супроводжується зростанням зерна і погіршенням механічних властивостей металу.

Термічний цикл зварювання змінюється зі зміною режиму зварювання. В основному термічний цикл зварювання залежить:

1) від величини погонної енергії, яка вимірюється кількістю тепла, відданого зварювального металу і віднесеного до одиниці довжини шва (кал / см);

2) від температури нагріву металу перед накладенням шва.

Структурні зміни металу в зоні термічного впливу залежать в основному від двох елементів термічного циклу зварювання:

1) часу нагріву вище критичної температури зростання зерна ( $1109^{\circ}\text{C}$ ), яке назвемо часом зростання зерна;

2) часу охолодження в інтервалі температур розпаду аустеніту ( $720^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$ ), яке назвемо часом розпаду аустеніту.

Сукупність виліву температур усіх точок тіла у конкретну мить часу є температурне поле. Його можна описати на площині та у перерізах ізотермами, які, у свою чергу, є геометричними місцями точок рівних температур. Параметри температурного поля залежать від термічного циклу нагріву та остигання металу, який впливає на фазові та структурні перетворення у металі, і, як наслідок, на властивості зварного з'єднання. Для прогнозування властивостей металу особливо необхідно знати максимальні температури нагріву і подальшу швидкість остигання.

Термічний цикл може досліджуватись як експериментально за допомогою термопар із дальшим записом на осцилограф; або потенціометр, а також може бути розрахований з використанням теорії розповсюдження теплоти у зварних з'єднаннях, розробленої академіком М.М. Рикалінім.

У лабораторній роботі дослідження та розрахунки проводяться для одного з розповсюджених випадків - однопрохідного зварювання листів устик. Температура по товщині листів приймається постійною, а температурне поле плоским  $T = f(x, y, t)$ .

## 2.1 Експериментальне визначення температури колошовної зони

Експериментально температуру колошовної зони під час нагріву та подальшого остигання вимірюють за допомогою термопар, які карбовані зі зворотного чи лицьового боку пластини на рівній відстані від шву (рис. 2.1).

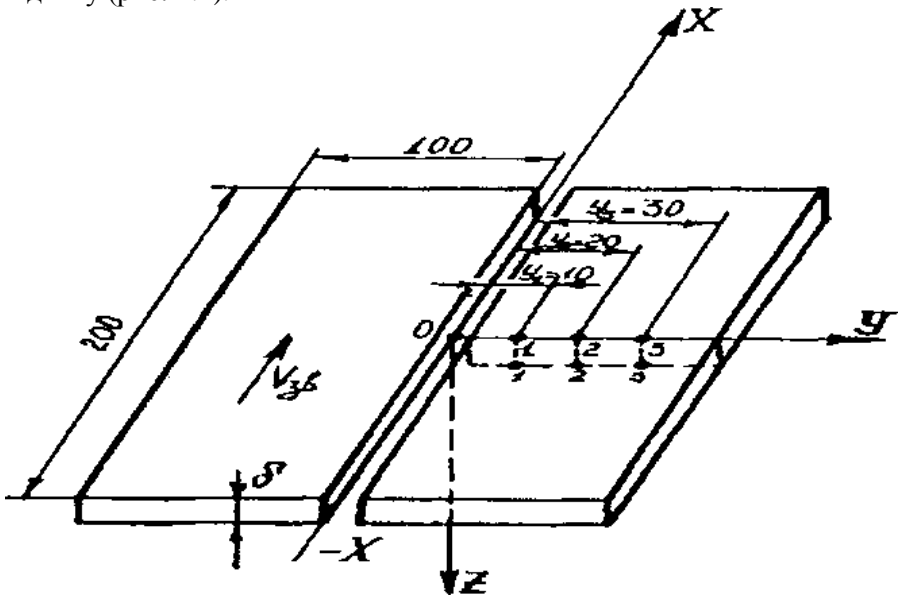


Рисунок 2.1 - Схема встановлення термопар

У нашому випадку використовуються термопари складу хромель-алюмель, які дозволяють вимірювати температуру від 100 до 1000° С. Запис значень температури проводиться потенціометром.

## 2.2 Теоретичний розрахунок

Температури граничного стану при зварюванні пластини або плоского шару можна проводити за формулами:

- для пластини

$$T_{\text{пр}} = [q/(2\pi \cdot \lambda \cdot \delta)]e^{(Vx/2a)} \cdot K_0[r \sqrt{(V^2/4a^2)} + (b/a)]; \quad (2.1)$$

- для плоского шару

$$T_{\text{пр}} = m[q/(2\pi \cdot \lambda \cdot \delta)]e^{(Vx/2a)} \cdot K_0[rV/2a] \quad (2.2)$$

$$q = \eta \cdot U \cdot I;$$

$$a = \lambda/C_p$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

$$b = 2\alpha/C_p \cdot \delta;$$

де  $q$  - ефективна теплова потужність зварювальної дуги, Дж;

$V$  - швидкість зварювання, см/с;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, для низьковуглецевої сталі, приймаємо  $\lambda = 0,4$  Дж/см·с·град;

$\delta$  - товщина зразка, см;

$a$  - коефіцієнт температуропроводності,  $a = 0,08$  см<sup>2</sup>/с ;

$K_0(U)$  - функція Бесселя;

$r$  - радіус-вектор, см;

$b$  - коефіцієнт температуровіддачі, для пластини з низьковуглецевої сталі, с<sup>-1</sup>;

$m$  - коефіцієнт, який вказує на те, що джерело зосереджене на верхній площині; його значення підраховується за номограмами у залежності від значень критеріїв  $V\delta/2a$  та  $r/\delta$  (рис. 17.17, [1]);

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі; для низьковуглецевої сталі при  $T = 1200^\circ\text{C}$  приймаємо  $\alpha = 21 \cdot 10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup>·с·град (рис. 16.6, [1]);

$X$  - координата позаду джерела ( $-X$ ), см;

$C_p$  - питома теплоємність, для низьковуглецевої сталі приймаємо  $C_p = 4,9$  Дж/см<sup>3</sup>·град;

$t$  - час, який пройшов після пересічення джерелом площини термопар, с;

### **2.3 Розрахунки температур на ПЕОМ**

Розрахунки температур на ПЕОМ проводяться за допомогою файла (TSP.exe).

## **3 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ**

1. Зварювальний автомат АДС-1001
2. Потенціометр
3. Термопари «хромель-алюмель»
4. Пластини з низьковуглецевої сталі
5. Секундомір
6. Лінійка 300 мм
7. Крейда

## **4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

4.1 На зразку з низьковуглецевої сталі розміром 200x100x20 мм зробити проплавлення вугільним електродом. Записати значення струму та напруги.

4.2 За допомогою потенціометра заміряти максимальні температури та температуру точок термопар у часі; побудувати залежність  $T(t)$  у перетині термопар. Режими наплавлення на автоматі АДС-1001 задає викладач.

4.3 За допомогою секундоміра виміряти час наплавлення та підрахувати швидкість джерела.

4.4 За формулами 2.1 або 2.2 розрахувати температуру точок у перетині термопар, порівняти з експериментальними значеннями.

4.5 За допомогою ПЕОМ розрахувати та побудувати температурне поле та розподіл температури у перетині термопар



(режими для розрахунків прийняти раніше визначені) і порівняти з експериментально розрахованими за формулами 2.1 або 2.2, значеннями. Зробити висновки.

## 5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке температурне поле?
2. Класифікація температурних полів.
3. Періоди нагріву тіл?
4. Точкове та нормально-кругове джерело нагріву?
5. Класифікація джерел нагріву?
6. Вплив режимів зварювання на параметри температурного поля?
7. Вплив теплофізичних характеристик на параметри температурного поля?
8. Ефективний ККД процесу зварювання плавленням
9. Методика розрахунків температури у періоді теплонасичення.
10. Методика розрахунків температури у періоді вирівнювання температур
11. Вплив обмеженості розмірів тіл на розподіл температури

## 6 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 6.1. Найменування та мета роботи.
- 6.2. Схема встановлення термопар.
- 6.3. Результати вимірювання режимів зварювання та температур.
- 6.4. Розрахунки температур, за формулами 2.1 або 2.2, а також на ПЕОМ. Рисунок температурного поля та розподілу температур по осі "y".
- 6.5. Аналіз значень температури у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати досліджень температур

№ контрольної точки	Координати точки, см	Експериментальне значення температури, °С	Значення температури розраховане за формулами 2.1 або 2.2, °С	Значення температури розраховане на ПЕОМ, °С
---------------------	----------------------	---	---	--

6.6 Висновки.

## 7 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.
2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією, або викладача.
3. У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача, або завідуючого лабораторією.
4. У випадку виникнення пожежі, або ураження електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності до затверджених інструкцій з охорони праці та пожежної безпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Теоретические основы сварки /Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1970. - 592с.
2. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. - К.: Высшая школа, 1976. - 423 с.
3. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. - М.: Высшая школа, 1977. - 487 с.
4. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х томах / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др.-М.: Машиностроение, 1978 - т.1 / Под ред. Н.А. Ольшанского. 1978. - 504 с.