

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“Київський політехнічний інститут”

**«ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ КОНЦЕНТРОВАНИМИ ПОТОКАМИ  
ЕНЕРГІЇ»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ДЛЯ СТУДЕНТІВ  
НАПРЯМКУ “ЗВАРЮВАННЯ”

*Затверджено методичною радою ЗФ, НТУУ “КПІ”*

Київ 2012

«Обробка матеріалів концентрованими потоками енергії». Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 0923 «Зварювання» / Укл. В. М. Пащенко, О. С. Василенко – К.: НТУУ «КПІ», 2012 р. – 20с., укр.

Навчальне видання.

**«ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ КОНЦЕНТРОВАНИМИ ПОТОКАМИ  
ЕНЕРГІЇ»**

Методичні вказівки  
до лабораторних робіт  
для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»

**УКЛАДАЧІ:**

Пащенко Валерій Миколайович,  
кандидат технічних наук, доцент

Василенко Олександр Сергійович,  
асистент

**Відповідальний редактор:**

С.М. Гетманець,  
кандидат технічних наук, доцент

**Рецензенти:**

Р.М. Рижов,  
доктор технічних наук, професор

Комп'ютерна  
верстка А.Л. Ковтуненко

КПІ 2012р

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Лабораторна робота № 1</b>	
Дослідження розподілу температури на плоскій поверхні при дії плазмового струменя.....	5
<b>Лабораторна робота № 2</b>	
Дослідження впливу режимних параметрів обробки на розподіл температури на плоскій поверхні при дії плазмового струменя.....	9
<b>Лабораторна робота № 3</b>	
Дослідження твердості матеріалу у ЗТВ при обробці без перекриття.....	13
<b>Лабораторна робота № 4</b>	
Дослідження твердості матеріалу у ЗТВ при обробці із перекриттям.	17
<b>Література</b> .....	20

## ВСТУП

Дисципліна “Обробка матеріалів концентрованими потоками енергії” у відповідності з узагальненим об’єктом діяльності бакалавра за напрямком 6.050504 “Зварювання” – *процеси створення нероз’ємних з’єднань, поверхонь, зварювальне устаткування*, присвячена технологіям обробки поверхонь плазмою, світловим (лазерним) та електронним випромінюванням.

Дисципліна входить до переліку дисциплін професійної та практичної підготовки варіативної частини державної освітньо-професійної програми підготовки спеціалістів та магістрів за напрямком 6.050504 “Зварювання”.

Викладання дисципліни передбачає проведення циклу лабораторних занять у спеціалізованих лабораторіях університету.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен ознайомитися зі змістом роботи, усвідомити її мету та завдання, засвоїти правила техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторії нанесення покриття, відповісти на контрольні питання викладача і отримати дозвіл на виконання роботи.

Прийом робіт викладачем проводиться у міру їх виконання.

## Лабораторна робота № 1

Тема: Дослідження процесу нагрівання плоскій поверхні виробу в умовах дії струменя плазми.

Мета роботи: дослідити просторовий розподіл температури на поверхні виробів простих форм після обробки плазмовим струменем.

Обладнання та матеріали:

1. Плазмова установка «Київ – 7».
2. Секундомір.
3. Лінійка.
4. Набір термоіндикаторних олівців номіналом: 150, 200, 250, 400, 500, 750, 900 та 1100 °С.
5. Сталеві пластини товщиною 5, 10, 15, 20 мм.

### Теоретичні відомості

Тепловий потік, що надходить від плазмового струменя до поверхні твердого тіла, розподілений по плямі нагріву нерівномірно: на осі струмини його значення максимальне, а з віддаленням від осі спадає за певним законом до нуля.

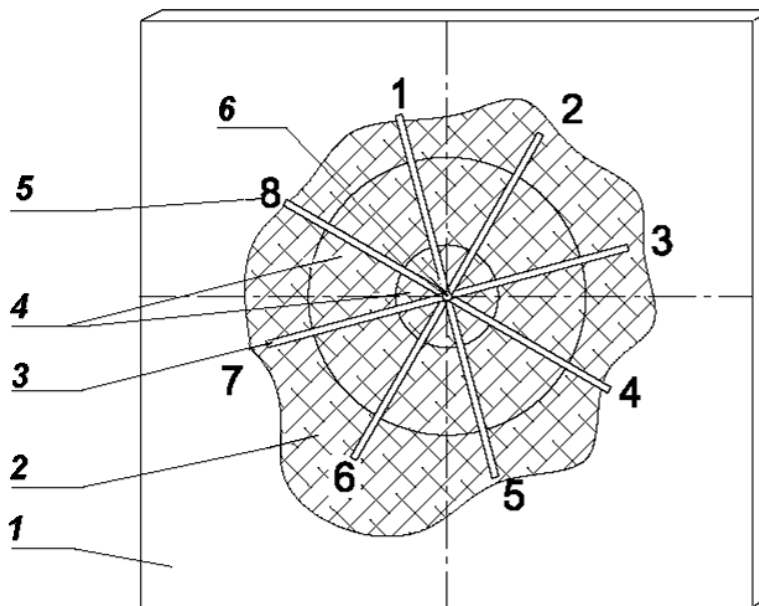
Ефективне застосування методів плазмової обробки матеріалів неможливе без знання характеру розподілу густини теплового потоку по плямі нагрівання і значень температури в різних точках поверхні.

Застосовується цілий ряд методик визначення розподілу густини теплового потоку та температури на поверхні твердого тіла: застосування пластин із чутливими елементами; калориметрів різних конструкцій; тонких металевих пластин, вкритих легкоплавким матеріалом та ін.

Достатньо простою є методика визначення розподілу температури по плоскій поверхні сталевій пластині за допомогою термоіндикаторних олівців.

Термоіндикаторний олівець має вигляд стрижня із лакополімерного композиту, який знаходить у металевій циліндричній оправі. Матеріал стержня плавиться при певній температурі, яка відповідає номіналу олівця.

Для визначення моменту досягнення певної температури на контрольовану поверхню наносять позначку (риску) термоіндикаторним олівцем відповідного номіналу (рис.1.1).



1 – сталевая пластина; 2 – очищена ділянка; 3 – сліди (позначки) олівців; 4 – зона термічного впливу струменя плазми; 5 – номер термоіндикаторного олівця; 6 – центр плями

Рисунок 1.1 – Схема вимірювання розподілу температури на поверхні сталевій пластині за допомогою термоіндикаторних олівців

Позначка, що отримана – суха і сипка. Коли температура поверхні досягає значення, що відповідає номіналу олівця, позначка розплавляється і перетворюється в глянцева валик. Глянцевий вид валика зберігається після охолодження поверхні.

До переваг застосування термоіндикаторних олівців порівняно з іншими методами контролю температури відносять:

- контроль температури на ділянках з обмеженим доступом
- компактність
- точність (похибка 1%)
- надійність (не чутливі до механічного та електричного впливу, коливань температури оточуючого середовища, вологості)
- відсутність джерела живлення

- довговічність (один олівець розрахований на нанесення позначок загальною довжиною до 500м)
- не потребують додаткових налаштувань на температуру оточуючого середовища і коефіцієнт випромінювання
- низька вартість одного виміру (порівняно з пірометрами, термопарами)
- простота застосування
- безпека для здоров'я (не містять сполук сірки та свинцю)

Під час роботи не слід звертати увагу на зміну кольору позначки, оскільки критерієм, що визначає температуру поверхні, є початок плавлення позначки.

Для визначення температури повторно та сама позначка застосовуватися не може.

При зміні температури, штрихи наносяться один поблизу другого декількома термоіндикаторними олівцями різного номіналу.

При тривалому впливі температури, що не перевищує номінал, позначка може випаровуватись або бути поглиненою поверхнею. Тому для постійного контролю температури необхідно періодично наносити нову позичку.

#### Порядок виконання роботи

1. Очистити поверхню пластини від оксидів і забруднень.
2. Перевірити готовність плазмової установки.
3. Виставити дистанцію обробки зразка переміщенням предметного столика.
4. Встановити пластину на предметний столик та з'ясувати розташування осі плазмового струменя (центра плями нагріву) на пластині, шляхом пробного короткочасного впливу плазмового струменя.
5. Охолоджену пластину підготувати до експерименту: провести промені термоіндикаторними олівцями від центру плями нагріву. Кожен промінь пронумерувати цифрами відповідно до табл.1.2.
6. Закрити захисну камеру.
7. Запустити плазмовий генератор.

8. Встановити режимні параметри генерації плазми відповідно до рекомендацій викладача і нагрівати пластину протягом 5 секунд, після чого вимкнути плазмотрон. Заповнити табл. 1.1.
9. Після охолодження зняти пластину з предметного столика. Здійснити фіксацію довжин оплавлених рисок за допомогою лінійки та їх ідентифікацію (номінал). Отримані дані занести до табл. 1.2
10. За отриманими даними побудувати графік залежності зміни температури в плямі нагріву від її радіусу.
11. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.1 – Режимні параметри обробки зразка

Діаметр сопла плазмотрона, мм	
Напруга на дузі $U$ , В	
Струм дуги $I$ , А	
Тиск плазмоутворювального газу, МПа	
Дистанція обробки зразка $L$ , мм	
Вид плазмоутворювального газу	

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань

	Номінал термоіндикаторного олівця, °С							
	150	200	250	400	500	750	900	1100
№ валика	1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина оплавлених валиків $r$ , мм								

### Контрольні запитання

1. Що дає технологу знання характеру розподілу температури на поверхні зразка при його термообробці ?
2. Що вважається номіналом термоіндикаторного олівця ?
3. Як можна підвищити точність вимірювання температурного розподілу в плямі нагріву ?



## Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження впливу режимних параметрів плазмової обробки на розподіл температури на плоскій поверхні виробу.

Мета роботи: дослідити просторовий розподіл температури на поверхні виробів простішої форми в умовах зміни дистанції обробки.

Обладнання та матеріали:

1. Плазмова установка «Київ – 7».
2. Секундомір.
3. Лінійка.
3. Набір термоіндикаторних олівців номіналом: 150, 200, 250, 400, 500, 750, 900 та 1100 °С.
4. Сталеві пластини товщиною 5, 10, 15, 20 мм.

### Теоретичні відомості

Основною фізичною характеристикою поверхневого зміцнення висококонцентрованим джерелом нагрівання є температурне поле. Ця характеристика дає змогу визначити температуру матеріалу в кожній точці зони термічного впливу в різні моменти часу, швидкості нагрівання й охолодження, тривалість перебування нагрітого металу ЗТВ у заданому інтервалі температур залежно від параметрів режиму обробки та теплофізичних характеристик матеріалу, який обробляється.

У свою чергу, температура значною мірою визначається питомим тепловим потоком, який надходить до поверхні виробу, що обробляється. Питомий тепловий потік плазмового струменя в довільній точці плями нагрівання обумовлений сумісною дією вимушеного конвективного і променистого теплообміну. Однак визначальною є роль конвективного теплообміну: променистий теплообмін передає не більше (5 – 10) % від загального теплового потоку. Зміна теплового потоку за радіусом плями нагріву для струменя і плазмової дуги атомарних газів, наприклад аргону, приблизно описується законом нормального розподілу:

$$q_2 = q_{2m} \exp(-k r^2),$$

де  $k$  – коефіцієнт зосередженості теплового потоку струменя,  $\text{см}^{-2}$ ;  $q_{2m}$  – найбільший тепловий потік у центрі плями нагріву,  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .

Таким чином, плазмові джерела нагріву можна розглядати як нормально–колові джерела теплоти з параметрами  $q_{2m}$  і  $k$ , які пов'язані з ефективною тепловою потужністю співвідношенням:

$$q = q_{2m} \frac{\pi}{k}.$$

Умовний діаметр плями нагріву нормально–колового джерела, тобто розмір плями  $d_H$ , на межі якої  $q_{2m} \left( \frac{d_H}{2} \right) = 0,05 q_{2m}$ , дорівнює:  $d_H = \frac{3,46}{\sqrt{k}}$ .

У загальному випадку розподіл теплового потоку струменів дисоційованих молекулярних газів не може бути точно описаний законом нормально–колового розподілу, як у випадку аргонного плазмового струменя.

Більш висока точність узагальнення досягається при описанні розподілу у вигляді суперпозиції двох нормально–колових джерел. Дві складові умовно відповідають двом концентрованим джерелам тепла на поверхні. Перше джерело обумовлене процесом конвективного теплообміну газу плазмового струменя з поверхнею. Друге джерело обумовлене виділенням енергії при асоціації атомів газу плазмового струменя на поверхні. Співвідношення між тепловими потоками джерел визначається режимними параметрами введення тепла і ступенем дисоціації газу, а коефіцієнти зосередженості джерел  $k_1$  і  $k_2$  відрізняються більш ніж на порядок.

### Порядок виконання роботи

1. Очистити поверхню металевої пластини від оксидів і забруднень.
2. Перевірити готовність плазмової установки.
3. Виставити певну дистанцію обробки зразка ( $L_1$ ) переміщенням предметного столика.

4. Встановити пластину на предметний столик та з'ясувати розташування осі плазмового струменя (центра плями нагріву) на пластині, шляхом пробного короткочасного вмикання генератора плазми.
5. Охолоджену пластину підготувати до експерименту: провести промені термоіндикаторними олівцями від центру плями нагріву. Кожен промінь пронумерувати цифрами відповідно до табл.2.2.
6. Закрити захисну камеру. Встановити режимні параметри генерації плазми відповідно до рекомендацій викладача і нагрівати пластину протягом 5 секунд, після чого вимкнути плазмотрон. Заповнити табл. 2.1.
7. Зняти пластину з предметного столика. Здійснити фіксацію довжин оплавлених рисок та їх ідентифікацію (номінал). Отримані дані занести до табл. 2.2.
8. Повторити дії описані в пунктах 1 - 8 для дистанцій  $L_2$ ,  $L_3$  відповідно.
9. За отриманими даними побудувати графік залежності зміни температури плями нагріву від її радіусу для кожної дослідженої дистанції обробки.
10. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 2.1 – Режимні параметри обробки зразка

Діаметр сопла плазмотрона, мм			
Напруга на дузі $U$ , В			
Струм дуги $I$ , А			
Тиск плазмоутворювального газу, МПа			
Дистанція обробки зразка $L$ , мм	$L_1=$	$L_2=$	$L_3=$
Вид плазмоутворювального газу			

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

		Номінал термоіндикаторного олівця, °С							
		150	200	250	400	500	750	900	1100
№ валика		1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина оплавлених валиків $r$ для $(L_1- L_3)$ , мм	$L_1$								
	$L_2$								
	$L_3$								

### Контрольні запитання

1. Які режимні параметри плазмової обробки визначають рівень температурних полів на поверхні виробу ?
2. Як впливає на загальний температурний рівень зміна дистанції обробки ?
3. Яким законом визначається розподіл тепла на поверхні товстої пластини за умови її нагрівання плазмовим струменем атомарних газів ?
4. Яким законом визначається розподіл тепла на поверхні товстої пластини за умови її нагрівання плазмовим струменем молекулярних газів ?

## Лабораторна робота № 3

Тема: Дослідження твердості матеріалу у ЗТВ при обробці плазмою.

Мета роботи: дослідити вплив режимних параметрів обробки на розподіл твердості в межах ЗТВ на поверхні виробів простішої форми

Обладнання та матеріали:

1. Плазмова установка «Київ-7».
2. Прилад для вимірювання твердості за Роквелом (твердомір).
3. Секундомір.
4. Сталева пластина товщиною не менше 5 мм.

### Теоретичні відомості

Твердість оцінюється опором, який одне тіло створює проникненню у нього іншого, більш твердого. Ця характеристика відображає в собі цілий комплекс механічних властивостей. Випробування на твердість проводяться для визначення якості нанесеного шару покриття, виявлення змін у приповерхневих ділянках основи після обробки концентрованими джерелами енергії, оцінки структурної неоднорідності за перерізом покриття та ін.

Твердість визначається за стандартами, які регламентують порядок вимірювання і визначають межі допустимої похибки стаціонарних твердомірів.

Метод заміру твердості за Роквелом через його простоту і оперативність є одним із найбільш розповсюджених. Його суть у втискуванні в поверхню, твердість якої вимірюється, алмазного конусу або сталевий кульки. Безрозмірною одиницею твердості є величина, яка відповідає переміщенню наконечника на глибину  $2 \cdot 10^{-3}$  мм. Переміщення фіксується індикатором, а значення твердості зчитується безпосередньо зі шкали твердоміра.

При втискуванні алмазного конуса із кутом при вершині  $120^\circ$  відлік ведеться по шкалах *A* та *C*. При втискуванні кульки діаметром 1,5875 мм – по шкалі *B*.

Для виключення впливу вібрації і тонкого поверхневого шару застосовується попереднє навантаження зусиллям 100 Н. Потім прикладається основне навантаження: для шкали *A* – 490 Н, для шкали *B* – 883 Н, для шкали *C* – 1472 Н. Відповідно твердість позначається *HRA*, *HRB*, *HRC*.

Спосіб підготовки зразків, метод їх відбирання та порядок випробувань визначає ГОСТ 9013-59.

Твердість за Бринелем (*HB*) визначається у м'яких металів: бронз, латуней, сталі після відпалювання чи нормалізації та ін. Суть методу у втискуванні в поверхню зразка сталеві загартованої кульки діаметром 10,5 або 2,5 мм.

Регламентується час витримки під навантаженням і величина навантаження. Значення твердості, за допомогою спеціальних таблиць, визначається за діаметром відбитка, який залишився на поверхні зразка після зняття навантаження (ГОСТ 9012-59). Діаметр відбитка вимірюється за допомогою лупи Бринеля.

Твердість матеріалів, які випробуються, обмежується 450 одиницями за Бринелем через ймовірність деформації або руйнуванні сталеві кульки при випробуванні більш твердих матеріалів.

Вимірювання твердості за Вікерсом (ГОСТ 2999-75) проводиться при навантаженнях від 9,8 Н до 980 Н. В якості індентора використовується алмазна піраміда з кутом між протилежними гранями 136°. Чисельне значення твердості за Вікерсом (*HV*) визначається за довжиною діагоналі відбитка із використанням спеціальних таблиць.

Метод дозволяє вимірювати твердість покриттів і зміцнених поверхневих шарів товщиною (0,03 – 0,05) мм. Якщо товщина покриття невідома, проводиться декілька вимірювань при різних навантаженнях доти, поки при зменшенні навантаження значення твердості не співпадуть або будуть близькі за значенням.

Розмірність значень твердості за Бринелем та Вікерсом однакова – Паскаль. Крім того, до твердості 450 *HB* співпадають чисельні значення твердості, визначені за двома методами.

## Порядок виконання роботи

1. Підготувати зразок до обробки та наступних вимірювань твердості. Згідно із ГОСТ 9013-59 шорсткість поверхні зразка не повинна перевищувати 2,5 мкм.
2. Перевірити готовність плазмової установки.
3. Обрати режимні параметри загартування (за узгодженням із викладачем) та зафіксувати їх у табл. 3.1.
4. Увімкнувши механізм переміщення плазмотрона відносно зразка провести обробку зразка.
5. Після охолодження пластини заміряти ширину обробленої ділянки поверхні. Ширина загартованої ділянки визначається за зміною кольору поверхні. Результат занести до табл. 3.2.
6. Оброблену ділянку поверхні умовно розділити за шириною на смуги. Виміряти твердість у межах кожної зі смуг. Отримані результати занести до табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Режимні параметри обробки плазмою

Вид плазмоутворювального газу	Напруга на дузі, В	Струм дуги, А	Дистанція обробки, мм	Тиск плазмоутворювального газу, МПа	Швидкість переміщення плазмотрона, мм / с

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань та випробувань

Змінний параметр	Загальна ширина загартованої ділянки, мм	Кількість смуг ділянки	Ширина кожної смуги, мм	Твердість загартованих ділянок, <i>HRB</i>	Примітки
		1			
		...			
		<i>n</i>			

7. Визначитись із змінним параметром та виконати обробку зразків зі зміною його величини.

8. Побудувати графіки залежності зміни твердості загартованих ділянок за шириною для кожного значення змінного параметра.

9. Зробити висновки по роботі.

### Контрольні запитання

1. Як у загальному випадку розподіляється твердість за глибиною ЗТВ товстої сталевій пластини, обробленої плазмою ?
2. Як у загальному випадку розподіляється твердість за шириною ЗТВ товстої сталевій пластини, обробленої плазмою ?
3. Чи залежить конфігурація ЗТВ від хімічного складу матеріалу, що обробляється ?



## Лабораторна робота № 4

Тема: Дослідження твердості матеріалу при обробці плазмою з перекриттям ЗТВ.

Мета роботи: визначення розподілу твердості матеріалу в межах ЗТВ при плазмовому загартуванні сталі з перекриттям зон термічного впливу.

Обладнання та матеріали:

1. Плазмова установка «Київ-7».
2. Прилад для вимірювання твердості за Роквелом (твердомір).
3. Секундомір.
4. Сталева пластина товщиною не менше 5 мм.

### Теоретичні відомості

Розміри зміцненої зони при плазмовому загартуванні сталей і значення мікротвердості, які досягаються в її межах, залежать від характеристик джерела нагріву і швидкості його переміщення відносно поверхні, яка обробляється.

На рис. 4.1 показаний типовий характер розподілу мікротвердості у зоні термічного впливу плазмового струменя.

Розміри ЗТВ обумовлені особливостями фазових і структурних перетворень у сталях різного складу. У доєвтектоїдних сталей 30ХГСА, 45, 50ХН і 65ХЗМФ, які мають більш високу критичну температуру повної аустенізації (точки  $A_{c3}$  за діаграмою “залізо-вуглець”), глибина загартованої зони  $\delta_{33}$  більше, ніж у евтектоїдних сталей М76 (рельсова із вмістом вуглецю 0,8 %) і 9ХФ.

Однак, не зважаючи на те, що у заєвтектоїдній сталі 150ХНМ критична температура повної аустенізації (точка  $A_{c_m}$ ) вище, ніж у евтектоїдних сталей, глибина її загартованої зони  $\delta_{33}$  в цьому випадку менше, хоча глибина  $\delta_{ЗТВ}$  більше за рахунок глибини перехідної зони  $\delta_{пз}$ .

Таким чином, можна зробити висновок, що глибина загартованої зони при плазмовому зміцненні вуглецевих сталей визначається вмістом у них вуглецю.

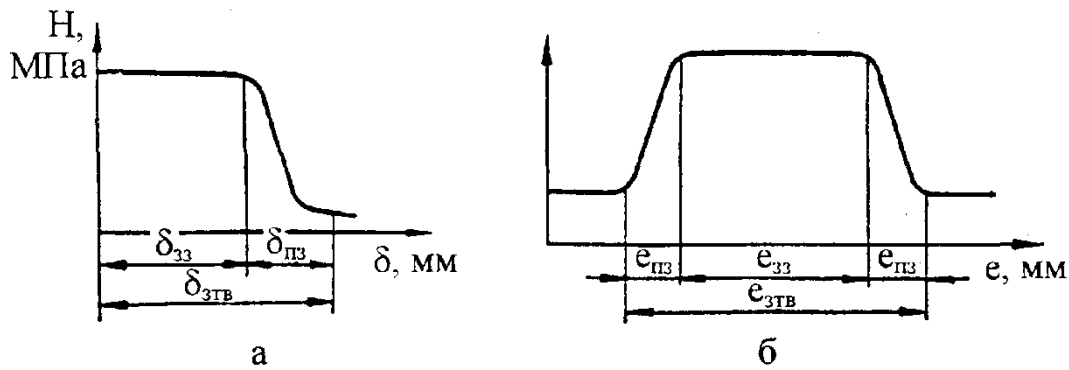


Рисунок 4.1 – Характер розподілу мікротвердості за глибиною (а) і шириною (б) ЗТВ плазмового струменя при обробці без оплавлення:  $\delta_{зТВ}$ ,  $\delta_{зз}$  – глибина відповідно зони термічного впливу і загартованої зони;  $e_{зТВ}$ ,  $e_{зз}$  – ширина тих самих зон

Особливостями фазових і структурних перетворень при плазмовому нагріванні різних сталей визначаються і розміри пограничних (перехідних) зон між загартованою поверхнею і вихідною структурою. Найменші значення ширини і глибини перехідної зони спостерігаються у евтектоїдних сталей М76 і 9ФХ, що пояснюється відсутністю у цих сталей температурного інтервалу рівноваги  $\alpha$  і  $\gamma$  – фаз (міжкритичного інтервалу).

Серед технологічних варіантів плазмового зміцнення найбільше практичне використання отримала обробка без перекриття ЗТВ. Перевагою такої обробки є отримання зміцнених шарів із практично рівномірною твердістю на поверхні. Це забезпечує найбільш високу, порівняно із іншими варіантами обробки, стійкість до спрацьовування.

При обробці з перекриттям можливе суттєве підвищення тріщиностійкості при деякому зниженні стійкості до спрацьовування. Це зниження зносостійкості викликане зниженням мікротвердості зміцненої поверхні за рахунок повторного нагрівання, а підвищення тріщиностійкості пояснюється підвищеною пластичністю сталі із структурою відпуску.

### Порядок виконання роботи

1. Підготувати зразок до обробки та наступних вимірювань твердості. Згідно із ГОСТ 9013-59 шорсткість поверхні зразка не повинна перевищувати 2,5 мкм.

2. Перевірити готовність плазмової установки.
3. Обрати режимні параметри загартування (за узгодженням із викладачем) та зафіксувати їх у табл. 4.1.
4. Увімкнувши механізм переміщення плазмотрона відносно зразка провести обробку зразка.
5. Змістити плазмотрон відносно пластини і обробити наступну ділянку поверхні, паралельну попередній, таким чином, щоб зони термічного впливу перекривалися на 1/3 ширини ЗТВ (визначати візуально).
6. Після охолодження пластини заміряти ширину ділянки обробленої поверхні. Ширина загартованої ділянки визначається за зміною кольору поверхні. Результат занести до табл. 4.2.
7. Оброблену ділянку (ЗТВ) умовно розділити за шириною на смуги. Виміряти твердість у межах кожної із смуг. Отримані величини занести до табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Режимні параметри обробки плазмою

Вид плазмоутворювального газу	Напруга на дузі, В	Струм дуги, А	Дистанція обробки, мм	Тиск плазмоутворювального газу, МПа	Швидкість переміщення плазмотрона, мм / с

Таблиця 4.2 – Результати вимірювань та випробувань

Змінний параметр	Загальна ширина загартованої ділянки, мм	Кількість смуг ділянки	Ширина кожної смуги, мм	Твердість загартованих ділянок, <i>HRB</i>	Примітки
		1			
		...			
		<i>n</i>			

8. Визначитись із змінним параметром та виконати обробку зразків зі зміною його значення.

9. Побудувати графіки залежності твердості загартованих ділянок за шириною для кожного значення змінного параметра.

10. Зробити висновки по роботі.

### Контрольні запитання

1. Чим відрізняється розподіл твердості поверхневого шару матеріалу при обробці з перекриттям ЗТВ від аналогічного розподілу при обробці без перекриття ЗТВ ?
2. В яких випадках доцільно використовувати той чи інший спосіб обробки ?
3. Чи впливає спосіб обробки на стійкість поверхні до спрацьовування. Якщо так, то яким чином ?

### **Література**

1. Плазменное упрочнение инструментальных материалов. Самотугин С. С., Лещинский Л. К. – Донецк: Новый мир, 2002. – 338 с.
2. Плазменное поверхностное упрочнение. Лещинский Л. К., Самотугин С. С., Пирч И. И., Комар В. И. – К: Техника, 1990. – 109 с.