

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до дипломної роботи (проекту)

**магістра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: *Розроблення автоматизованого методу визначення швидкості росту  
втомної тріщини на основі аналізу поверхні руйнування зразка  
(комплексна тема)*

Виконали: студенти

6 курсу групи КАМ-61

спеціальності

151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

**Бучинський  
Михайло Іванович**

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

**Зубко Володимир  
Степанович**

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

доц. **Коноваленко І.В.**

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

ст. викл. **Козбур І.Р.**

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

## РЕФЕРАТ

Бучинський Михайло Іванович, Зубко Володимир Степанович *Розроблення автоматизованого методу визначення швидкості росту втомної тріщини на основі аналізу поверхні руйнування зразка (комплексна тема).* - Тернопіль, ТНТУ, 2023. – 96 с.

Ця кваліфікаційна робота магістра містить відомості про обробку оптико-цифрових зображень лабораторних зразків та оцінювання швидкості поширення втомної тріщини. Так, у першому розділі розглянуто особливості виконання зварних швів, найбільш відомі засоби їх отримання, технології аналізу та обробки зображень.

В роботі попрацьовано функціональну схему автоматизованого лабораторного дослідно-діагностичного комплексу запропонованого у працях Пиндуса Ю.І., Марущака П.О., Фостика В.Б. та апробовано її використання, на основі держаних оптичних зображень одержано набір інформативних параметрів (швидкість зростання тріщини, максимальна величина деформації) у вершини, рівень відкриття/закриття тріщини), а також методика їх розрахунку на основі даних, одержуваних методом кореляції цифрових зображень, дозволяють кількісно характеризувати процес поширення втомної тріщини в металевих матеріалах в термінах механіки руйнування

Методи обчислення характеристик, структура алгоритмів, що дозволяють визначити всі основні етапи поширення втомної тріщини, описано на основі ієрархічного підходу, у якому характеристики розбиті на кілька рівнів.

Розглянуто підхід, який дозволяє створювати проблемно-орієнтовані та спеціалізовані експертні системи, налаштовані на певну аналізовану ділянку контрольованого об'єкту. Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

## ЗМІСТ

Вступ	12
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1. Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності	14
1.2. Характеристика матеріалу зварної конструкції	19
<hr/>	
1.3. Автоматизовані методи неруйнівного контролю	
<hr/>	
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	
2.1. Вибір способу виготовлення контрольованого об'єкту за методом зварювання	24
2.2. Фізико-механічні переваги способу зварювання	27
2.3. Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями	34
2.4. Автоматизований технічний контроль та виправлення браку	38
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	
3.1. Оптимізація параметрів конструкції та процесу виготовлення	49
3.2. Розробка методу координатних сіток для автоматизованого оцінювання напружено-деформованого стану у вістрі втомної тріщини після одноразових перевантажень	56
3.3. Визначення деформацій у вістрі втомної тріщини після одноразових перевантажень оптико-цифровим методом	58
3.4. Математична модель формування кластерів деформаційного рельєфу на поверхні плакуючого шару конструкційних алюмінієвих сплавів	61
<b>4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
<b>5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	
5.1. Вибір досліджуваних матеріалів	67
5.2. Автоматизований метод прогнозування РВТ	71
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	

6.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища	78
6.2. Санітарно – гігієнічні характеристики зварювального виробництва	79
6.3. Техніка безпеки при роботі з машинами і механізмами	86
7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	88
ВИСНОВКИ	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	92

## ВСТУП

Автоматизовані дослідження швидкості поширення втомних тріщин дозволяють прогнозувати ресурс елементів конструкцій тривалої експлуатації, які працюють під циклічним навантаженням. Специфікою ряду нафтогазових конструкцій, зокрема зварних з'єднань, є те під впливом конструктивних концентраторів напружень та умов експлуатації стадія зародження тріщини є незначна і довговічність таких конструкцій визначається швидкістю поширення тріщини. Вирішення проблем міцності і надійності техніки, застосовуючи підходи лінійної механіки руйнування, з однієї сторони зумовило бурхливий розвиток цієї галузі науки у другій половині ХХ століття, а з другої - дозволило запровадити експлуатацію зварних конструкцій за принципом безпечної пошкоджуваності, який, у першу чергу, базується на знаннях закономірностей росту втомних тріщин в експлуатаційних умовах. Більшість розроблених математичних моделей росту втомних тріщин та методик оцінки ресурсу елементів конструкцій стосуються регулярного (з постійною амплітудою) навантаження. Проте експерименти показали, що за умов нерегулярного навантаження, коли конструктивні елементи сприймають одно- і багатократні цикли перевантаження, тріщина росте немонотонно, зі значними затримками. Виявилось, що їх врахування у моделях росту тріщини є складним науковим завданням, яке залежить від багатьох факторів. Отже, розвиток автоматизованих методів оцінювання циклічної тріщиностійкості матеріалів і конструкцій, дозволяє отримати значний економічний ефект. Вищесказане підтверджує актуальність теми даної магістерської роботи.

Для одержання цих результатів автори доопрацювали методику автоматизованих досліджень швидкості РВТ після одноразових перевантажень і програмні засоби для автоматизованої обробки експериментальних даних.

Виконані у даній магістерській кваліфікаційній роботі дослідження і одержані результати дозволили апробувати методику прогнозування РВТ після одноразових перевантажень, з урахуванням асиметрії циклу навантаження, а також при нерегулярному навантаженні розтягом. Ця методика об'єднує атоматизовані методи запису даних експерименту та їх оброблення, і підсумовує загальну цілеспрямованість виконаної кваліфікаційної роботи.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

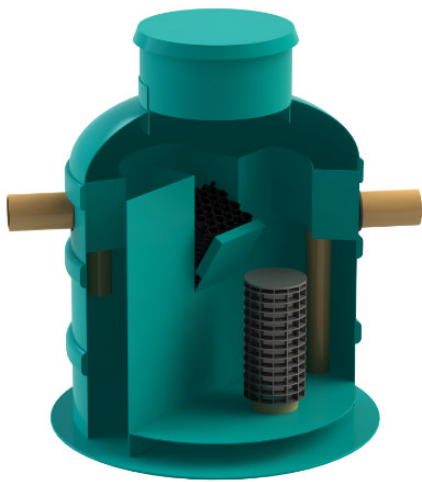
## 1.1. Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності

Нафтогазові сепаратори призначені для розділення продукції свердловин на рідку та газову фази і служать для:

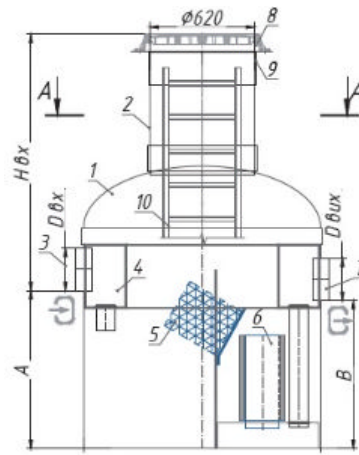
- отримання нафтового газу, що виділяється з нафти при її русі по стволу свердловини, викидній лінії і збірному колектору для використання в якості цінної хімічної сировини і палива;
- зменшення перемішування нафтогазоводяного потоку і зниження гідравлічних опорів в трубопроводах;
- розкладання та відділення з нафти утвореної піни;
- попереднього відділення води від нафти при видобутку нестійких або зруйнованих в трубопроводі емульсій;
- зменшення пульсацій при транспортуванні нафти від сепараторів першого ступеня до установки підготовки газу.

Вертикальні сепаратори застосовуються в основному при облаштуванні нафтових родовищ з малодобітних свердловин, при вмісті в продукції свердловин значних кількостей парафіну і піску, а також використовуються на морських родовищах.

Спільним у конструкції сепараторів будь-якого типу є наявність у них чотирьох секцій (рис. 1.1). Перша основна сепараційна секція, яка служить для інтенсивного виділення газу з нафти. На роботу сепараційної секції великий вплив мають ступінь зниження тиску, температура в сепараторі, фізико-хімічні властивості нафти, особливо її в'язкість, конструкція пристрою введення продукції в сепаратор - радіальне або тангенціальне, а також використання різних насадок - дротяної сітки, диспергаторів.



а



б

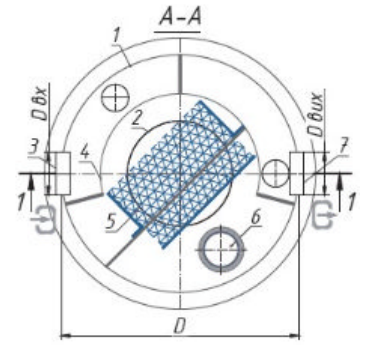


Рисунок 1.1 – Вертикальний сепаратор:

1. корпус сепаратору нафтопродуктів;
2. горловина для технічного обслуговування;
3. вхідний патрубок;
4. байпас (склопластиковий лоток);
5. коалесцентний модуль;
6. блок пінополіуретанових фільтрів;
7. вихідний патрубок;
8. люк (або склопластикова кришка  $\text{Ø}620$ );
9. плаваючий фланець горловини  $\text{Ø}620$ ;
10. драбина.

Друга осаджувальна секція, в якій відбувається додаткове виділення бульбашок газу, захоплених нафтою в сепараційній секції. Для інтенсивнішого виділення бульбашок газу з нафти, її направляють тонким шаром по похилих площинах, збільшуючи тим самим довжину шляху руху нафти. Площини виконують з невеликим порогом, що спричинює виділенню газу з нафти.

Третя секція збору нафти знаходиться в самому низу сепаратора, служить для збору нафти і подальшого виведення її з сепаратора.

Четверта каплеуловлювальна секція розташована у верхній частині сепаратора і служить для уловлювання крапельок рідини, що виносяться потоком газу.

Сепаратор, представлений на рис. 1.1 працює наступним чином. Нафтогазова суміш під тиском надходить через патрубок 1 до роздаточного



колектора 2, що має по всій довжині щілину для виходу суміші, звідки нафтогазова суміш потрапляє на похилі полицки 6, збільшуючи шлях руху нафти і сприяють тим самим виділенню бульбашок газу. У верхній частині сепаратора встановлена краплевловлювальна насадка 4 в якій конденсуються краплини рідини і стікають в піддон, потім по дренажній трубі 13 направляються в нижню частину сепаратора.

Перегородки 10 в сепараторі служать для заспокоєння рівня при пульсуючому подачі продукції свердловин, а датчик регулятора рівня поплавкового типу 7, з виконавчим механізмом 8 - для циклічного виведення рідини з сепаратора. Через дренажний патрубок 9 скидається накопичений в нижній частині сепаратора бруд.

У верхній частині сепаратора встановлюється запобіжний клапан 5, розрахований на скидання газу при досягненні в сепараторі тиску вище норми, передбаченої технологічним процесом. На газовому патрубку сепаратора є також регулятор тиску 3, що забезпечує заданий тиск в корпусі сепаратора.

У нижній частині сепаратора є водомірне скло 11 з краниками 12, призначене для вимірювання кількості рідини, що подається. В апаратах, що мають внутрішній надлишковий тиск, використовують випуклі днища, котрі за існуючими нормами повинні бути еліптичними, або близької до них форми.

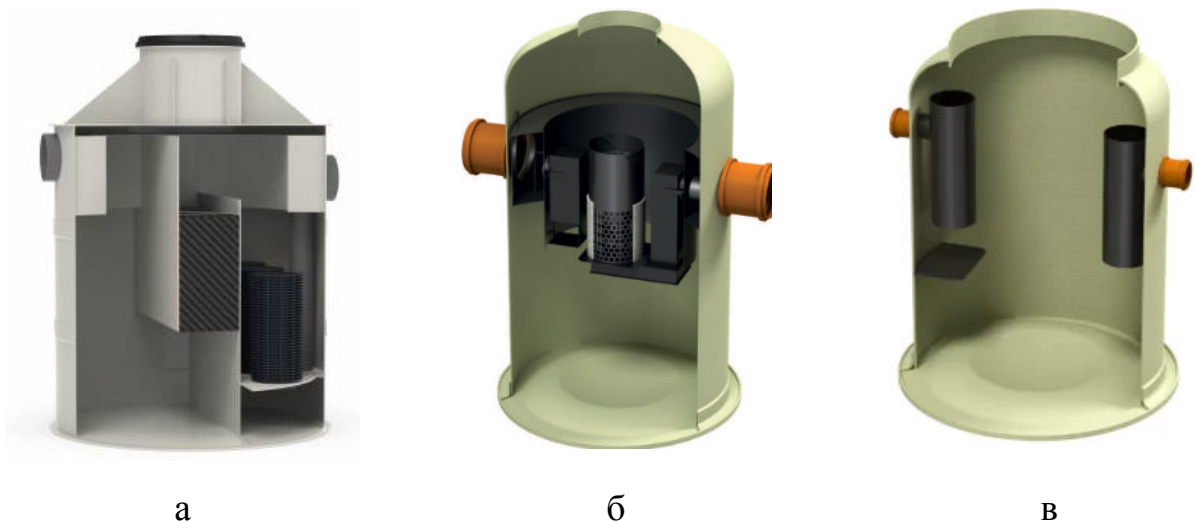


Рис. 1.1. Типові конструкції нафтових сепаратрів

Такі днища складаються з трьох частин: сферичного сегменту, поверхні тору та циліндричного відбортуння. Експериментально встановлено, що радіус сфери повинен бути не більше діаметру обичайки, а радіус переходу до циліндра більше або рівний 0,1 діаметра обичайки.

Ступінь технічної досконалості сепаратора характеризується наступними параметрами:

- мінімальним діаметром крапель рідини, затриманих в сепараторі;
- максимально допустимої середньою швидкістю газового потоку у вільному перерізі сепаратора, а також в капле уловлювальній секції;
- часом перебування рідини в сепараторі, за який відбувається максимальне відділення вільного газу від рідини.

З точки зору проектування конструкції – технологічним називається виріб, який відповідає всім технічним параметрам функціонального призначення, виготовлений при мінімальних затратах праці, часу, матеріалів.

Виготовлення корпусу сепаратора виконується за допомогою зварювання деталей, виготовлених із конструкційної низьколегованої сталі 09Г2С. Особливості цієї сталі – низький вміст вуглецю і високі механічні характеристики. Технічними перевагами проектованої конструкції є просте, швидке, економічне виготовлення за обов'язкового дотримання умов міцності, стійкості, виносливості та інших експлуатаційних якостей, забезпечених використанням передових технологій зварювання, вибором відповідного технологічного обладнання та технічного оснащення.

## **1.2 Характеристика матеріалу зварної конструкції та визначення її зварюваність**

Вибір матеріалу для зварної конструкції є одним з чинників раціонального проектування. Ключове значення за цього відіграє зварюваність матеріалу. Зварюваність - це придатність матеріалів для виготовлення зварних конструкцій. Розрізняють фізичну і технологічну зварюваність.

Фізична зварюваність - здатність зварюваних матеріалів створювати надійні зв'язки між атомами. Таку зварюваність мають чисті метали й технічні сплави, а також деякі сплави металів із неметалами.

Технологічна зварюваність - здатність матеріалів зварюватись за певних видів і режимів зварювання.

Зварюваність залежить від властивостей металу, кристалічної решітки, наявності шкідливих елементів тощо. Зварюваність вважається кращою при використанні простої технології, коли є широкі межі режимів зварювання, у швах відсутні тріщини, пори, неметалеві включення та інші дефекти. Спосіб зварювання, зварювальні матеріали і техніку зварювання для кожного матеріалу вибирають залежно від основних показників його зварюваності.

09Г2С - низьколегована конструкційна сталь. Згідно статистичних даних це найпопулярніша марка сталі в Україні. Саме з неї виготовляється більша частина фасонного прокату та листів підвищеної міцності призначених для ємностей під тиском. Клас сталі К50. У вуглецевих конструкційних сталях, що широко використовуються у машинобудуванні, нафтогазовій галузі, кораблебудуванні, вміст вуглецю зазвичай складає - 0,06-0,9%. Вуглець є основним легувальним елементом та визначає механічні властивості сталі. Підвищений його вміст ускладнює технологію зварювання та ускладнює можливість отримання рівномічного зварного з'єднання без дефектів.

Велике поширення і популярність сталі 09Г2С зумовлено тим, що її високі механічні властивості дозволяють економити при виготовленні будівельних конструкцій. Більше того, такі конструкції мають меншу вагу. Області застосування цієї марки сталі вельми різноманітні. З неї виготовляються елементи і деталі зварних металевих конструкцій, які можуть працювати при температурах від  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сталь 09Г2С використовується для виробництва труб та листових конструкцій в нафтовій та хімічній промисловості, суднобудуванні та машинобудуванні. Хімічний склад даної сталі наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. – Масова частка елементів (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
< 0,12	0,5 - 0,8	1,3 - 1,7	<0.04	< 0.035	< 0.3	< 0.3	< 0.3

Для оцінки зварюваності даної сталі проведемо розрахунок еквівалентного вмісту вуглецю за формулою:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+V+Mo}{10} \quad (1.1)$$

Підставивши у дану формулу масові частки елементів отримаємо:

$$C_e = 0.17 + \frac{0.4}{20} + \frac{0.3}{15} + \frac{0.3}{10} = 0.24\%$$

Отже, 09Г2С з вмістом еквіваленту вуглецю 0.24 %, відноситься до сталей з доброю зварюваністю, зварюється без підігрівання і будь-яких обмежень

Таблиця 1.2 – Класифікація сталей по зварюваності

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент $C_{екв}$ , %	Технологічні процеси			
			Підігрів		Термообробка	
			Перед зварюв.	Під час зварюв.	Перед зварюв.	Під час зварюв.
1	Добра	<0.25	-	-	-	Бажано
2	Задовільна	0.25-0.35	Потрібно	-	Бажано	Потрібно
3	Обмежена	0.35-0.45	Потрібно	Бажано	Потрібно	Потрібно
4	Погана	>0.45	Потрібно	Потрібно	Потрібно	Потрібно

### 1.3 Електромагнітний метод АСFM для контролю зовнішніх дефектів металу у зварних з'єднаннях

Візуальний контроль є одним з простих методів контролю. Але з часом виявилось, що за допомогою візуального контролю неможливо виявити приховані дефекти.

Так виникла необхідність в застосуванні інших методів контролю. Зокрема таких, які не змінюватимуть внутрішню структуру металу і не погіршуватимуть його якісні характеристики. Незабаром такі методи були розроблені, і їх назвали неруйнівними.



Рис. 1.2. Візуальний контроль зварного з'єднання

Метод АСFM розроблено у 80-х групою компаній зі Великобританії, в рамках створення надійного методу неруйнівного контролю металевих конструкцій, розташованих під водою. До розробки методу АСFM в секторі видобутку шельфу корисних копалин в основному застосовували магнітопорошковий метод (МПД) для контролю тріщин на поверхні зварних металевих конструкцій, розташованих під водою. Щоб реалізувати метод МПД, потрібна хороша якість поверхні регламентованого рівня. При цьому захисне покриття повинно бути видалено до голого металу, що в агресивному солоному водному середовищі неминуче веде до утворення корозії. Методом МПД можна виміряти лише довжину тріщини, тоді як глибина – найважливіший параметр – залишається невідомою. Саме за глибиною тріщини розраховують залишковий ресурс тримкої конструкції. Метод традиційного вихрострумовеого контролю (ВК) також використовують у галузі. Окрім регламентованої якості поверхні, ВК має інші обмеження. Через високу магнітну проникність у вуглецевих сталях використання ВК можливе лише для виявлення тріщин, що виходять на поверхню. Вимірювання глибини таких тріщин неможливе. При контролі нержавіючих сталей максимальна глибина тріщин, що вимірюються, 5 мм - глибина проникнення вихрових струмів.

Однак, з глибиною кількість помилкових сигналів може збільшуватись. Іноді застосовують маловідомий метод ACPD (Alternating Current Potential Drop/Падіння потенціалу змінного струму), за допомогою якого можна було спрогнозувати глибину залягання втомних тріщин при руйнуванні поверхні. Але цей метод дуже складний та складний для відтворення під водою, оскільки потрібен хороший електричний контакт між перетворювачем та поверхнею контролю. Був потрібен метод контролю, який не вимагав контакту з поверхнею контролю, вимірював глибину дефектів і був простий у виконанні. Було розроблено новий метод неруйнівного контролю, відомий зараз як ACFM (Alternating Current Field Measurement / Вимір поля змінного струму). Сьогодні метод ACFM у шельфовому видобутку корисних копалин забезпечує можливість виявляти тріщини у зварних з'єднаннях під водою та на поверхні.

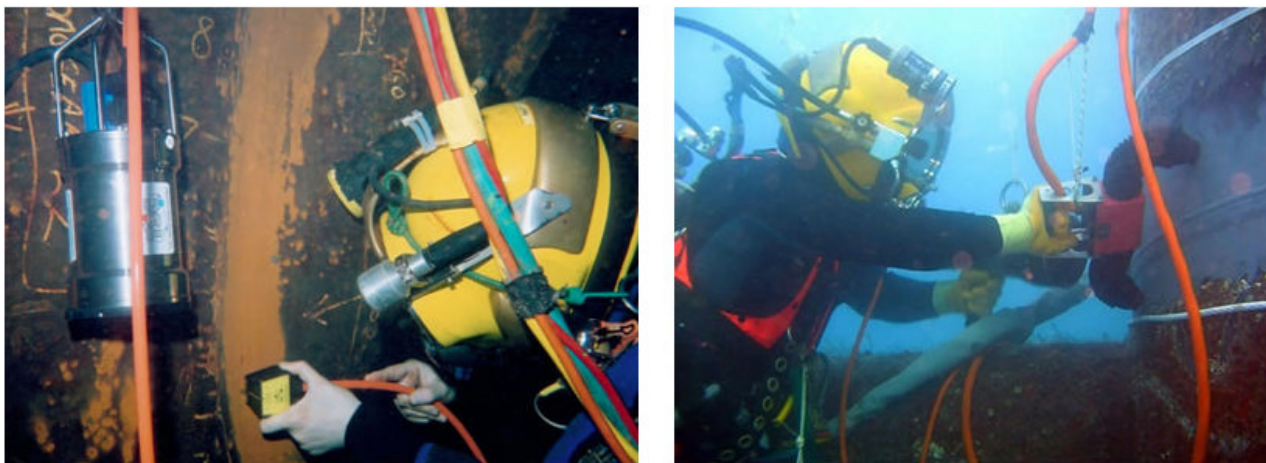


Рис. 1.3. Метод неруйнівного контролю ACFM (Alternating Current Field Measurement / Вимір поля змінного струму).

При цьому, метод є автоматизованим та не вимагає високої якості поверхні порівняно з вимогами для МПД та ВК. За допомогою лише одного цього методу можна виявити та виміряти довжину та глибину тріщини. З моменту першого комерційного використання обладнання за методом ACFM, виробленого в 1991, він поширився у всьому світі і став якісним доповненням в інструментарії неруйнівних методів контролю.

*Контроль резервуарів.* Сканування зварних швів резервуарів за допомогою ACFM.



Рис. 1.4. Аналіз зварних швів резервуарів за допомогою АСFM.

На суходолі, метод АСFM застосовують в нафтогазовій промисловості, для контролю резервуарів із сировою нафтою та паливно-мастильною продукцією. Такі резервуари виробляються шляхом зварювання металевих листів великої площі за складним компонуванням. У конструкції присутні зварні шви встик, внакладку і кутові шви, що з'єднують листи стін та днища резервуарів. Дослідження руйнувань на нафтопереробних заводах дозволили визначити наявність високої кількості тріщин у кутових зварних швах між стінкою та днищем резервуарів. Згодом це призводило до витоків продукту. Циклічне навантаження при заповненні резервуара та видаленні з нього продукту на додаток до навантаження, що отримується від маси самої конструкції зумовлює утворення тріщин на межі сплавлення внутрішніх кутових швів з боку плити днища резервуара (Рис. 4). Магнітні сканери, які використовуються для контролю днищ резервуарів, виявляють лише корозійні ураження/потоншення листів. Виявлення тріщин у зварних швах не є їх основним завданням. Традиційний метод виявлення тріщин - МПД з використанням вакуумної камери і попередньої підготовки поверхні - дуже тривалий процес.

З метою економії коштів і часу, а також беручи до уваги надійні результати виявлення тріщин у зазначених зонах кутових швів у конструкціях резервуарів на НПЗ, розташованих у Франції, був обраний метод АСФМ.



Рис. 1.5. Аналіз зварних швів днищ резервуарів (АСФМ)

#### *Радіографічний контроль*

Радіографічний (чи радіаційний) контроль-метод контролю якості, суть якої полягає в проходженні Х- променів крізь метал. Якщо промені проходять безперешкодно, означає є приховані дефекти. Якщо дефектів немає або вони незначні, то промені просто розчиняються в металі.



Рис. 1.6. Радіографічний (чи радіаційний) метод контролю зварного шва труби

Для фіксації результату використовують спеціальні плівки, на яких потім роблять рентгенівський знімок. Плівки покриті спеціальною речовиною, що



реагує на рентгенівські промені. А вони все одно залишаються. Навіть якщо дефектів немає, оскільки метал не повністю поглинає випромінювання. В результаті ми завжди отримуємо знімок, де можна чітко побачити наявність або відсутність дефектів.

Рентгенографія дуже ефективна, але вимагає дуже відповідального підходу до роботи. Оскільки зв'язана з ризиком для здоров'я. До того ж, рентгенівські промені здатні заряджати повітря електрикою, що може привести до нещасних випадків..

### *Ультразвуковий контроль*

Ультразвуковий контроль дуже схожий на радіографічний, лише замість рентгенівських променів тут використовують ультразвук. Звукові коливання, проходять через метал, і повертаючись назад можуть видозмінюватися, якщо зустрінуть на шляху внутрішній дефект. Усі ці зміни фіксуються за допомогою спеціального устаткування-дефектоскопа. Ключові параметри, на які дивиться контролер -це швидкість проходження ультразвуку і міра його послаблення, коли сигнал повертається назад.



Рис. 1.6. Ультразвуковий контроль зварного шва труби

Цей контроль зварних швів відносно точний і інформативний, він дозволяє виявити усі типи внутрішніх дефектів, позначити їх розмір і місце розташування. Але ультразвуковий контроль вимагає дорогого устаткування і

досвідчених контролерів, не можна довірити цю роботу зварювальникові в якості додаткового обов'язку. З цієї причини дефектоскоп використовується тільки на великих підприємствах.

Функціональна схема та алгоритм роботи випробувально-моніторингового комплексу, а також методика контролю стану конструкційних матеріалів у процесі циклічного навантаження, заснована на розрахунку інформативних параметрів акустичних сигналів, що реєструються, і оптичних зображень, що дозволяють через виявлення характерних стадій втомного руйнування (у величинах напруження) отримувати оцінку ступеня пошкодженості матеріалу.

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1. Вибір способу виготовлення контрольованого об'єкту за методом зварювання**

#### **2.1. Фізико-механічні переваги способу зварювання**

Абревіатура STT розшифровується як «Surface Tension Transfer» - механізм перенесення краплі за допомогою сили поверхневого натягу. Процес STT є різновидом переносу металу за допомогою коротких замикань, який реалізується при дуговому зварюванні в середовищі захисних газів, з одною важливою відмінністю - розплавлений метал переноситься завдяки силам поверхневого натягу зварювальної ванни, яка втягує в себе рідку каплю на кінці електродного дроту.

Електромагнітне стискуюче зусилля при пінч-ефекті додатково допомагає краплі відокремитися, але не є основним механізмом перенесення, як це спостерігається при звичайному зварюванні короткими замиканнями. Цей вид перенесення дозволяє значно зменшити розбризкування і димоутворення на відміну від традиційних методів. Процес простий у використанні, забезпечує хороший контроль зварювальної ванни і дозволяє значно знизити ймовірність утворення несплавлення. Він не вимагає від зварника високої кваліфікації для виконання якісного зварного з'єднання. Крім цього, простота процесу STT скорочує час навчання зварників.

Метод STT зменшує трудомісткість виконання кореневого шва стику по відкритому зазору і забезпечує краще формування зворотного валика та сплавлення кромки. Даний процес відрізняється від традиційного зварювання короткою дугою в середовищі захисних газів тим, що зварювальний струм у цьому процесі контролюється незалежно від швидкості подачі дроту. Крім цього, не відбувається характерного для традиційних методів зварювання виплеску рідкої зварювальної ванни при перенесенні металу. Це зменшує ступінь змішування зварювальної ванни з основним металом і забезпечує точніший контроль проплавлення.

При зварюванні за процесом STT відбувається пряме управління умовами переносу наплавлюваного металу у зварювальну ванну. Ця можливість забезпечується, спеціальною швидкодіючою схемою джерела живлення, спеціальним електронним мікропроцесорним модулем, який примусово задає необхідний рівень зварювального струму і контуром зворотного зв'язку, що динамічно відслідковує зміну напруги на дузі. В процесі зварювання, керованого джерелом живлення, величина сили струму залежить від стану газового проміжку. Час реакції системи на зміни, що відбуваються у зварювальній ванні, складає одиниці мікросекунди. Параметри дуги оптимізуються протягом всього процесу утворення та перенесення кожної краплі розплавленого металу з електрода у зварювальну ванну. Схема керування струмом дуги дозволяє усунути недоліки, властиві звичайному зварюванню, що проходить в режимі короткого замикання – жорсткої дуги та значного розбризкування.

Теплофізичні властивості дуги і зварювальної ванни, характерні для процесу переносу металу за рахунок сил поверхневого натягу, дозволяють вести зварювання кореня шва ззовні з отриманням зворотного валика заданих розмірів у всіх просторових положеннях. Дослідження показали, що процес виконує сплавлення кромки та створення зворотного валика при збільшенні ширини розроблення до 4 мм та зміщенні кромки до 3,0 мм навіть в стельовому положенні.

Другою суттєвою перевагою при виконанні кореневого шва за допомогою процесу STT є об'єм наплавлюваного металу, що відповідає двом проходам при використанні електродів з целюлозним покриттям. За цього зовнішня поверхня зварного шва є вільною від шлаку (потрібне незначне зачищення за допомогою щітки) і не має так званих “кишень” – зашлакованих поздовжніх канавок, розміщених по краях шва в місцях сплавлення з основним металом, характерних для того ж зварювання електродами з целюлозним покриттям.

Варто відзначити, що переваги зварювання електродом з основним

покриттям – відносно низкий вміст дифузійного водню в металі шва. Однак, зварювальний процес STT, що виконується електродним дротом суцільного перерізу в середовищі захисних газів, за даними компанії-виробника перевищує цей показник (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Вміст дифузійного водню в металі шва, виконаного різними способами, мл/100гр.

№ п/п	Електрод з целюлозним покриттям	Електрод з основним покриттям	Процес STT
1	36,71	5,53	1,34

Серед інших особливостей процесу STT варто виділити скорочення загального тепло вкладення у зварювальну деталь. За цього більшість зварників відмічають легкість керування зварювальною ванною. Процес не потребує особливих навиків. Високі показники якості і стабільності наплавлення досягаються при захисті дуги і зварювальної ванни найбільш дешевим вуглекислим газом, оскільки метод оптимізований для типу переносу металу серіями коротких замикань, характерних для CO<sub>2</sub>.

Для виконання заповнюючих швів в даній технології використовується спосіб напівавтоматичного зварювання самозахисним дротом Innershield. При зварюванні самозахисним дротом Innershield продуктивність наплавлення майже в чотири рази більша ніж при роботі з штучними електродами – це збільшує ефективність процесу на 24%.

Шлак, що утворюється при зварюванні дротом Innershield, володіє унікальними властивостями нейтралізування сірки, що знижує вміст сульфату заліза у зварювальній ванні та мінімізує об'єм пов'язаних з цим дефектів. За даними стандартів Американського товариства зварників AWS A5.20-79 шви отримані даним методом мають високі показники тріщиностійкості.

Для реалізації технологічного процесу був підібраний багатофункціональний зварювальний апарат з керованою формою струму

Power Wawe 455 M/ STT (рис.2.1) американської фірми Лінкольн Електрик. Вказаний зварювальний апарат може бути використаний для роботизованого, автоматизованого та напівавтоматичного зварювання, з повним контролем тепло вкладення, мінімальною деформацією та низьким рівнем розбризкування. Зварювальне джерело живлення Power Wawe 455 M/ STT Lincoln Electric виконане на основі технології Waiveform Control Technology, може забезпечувати відмінні параметри зварювальної дуги для різних матеріалів, включаючи низько вуглецеву, леговану сталь і алюміній. Можливості апарата Power Wawe 455 M/ STT забезпечують стабільний процес зварювання з усіма діаметрами і видами електродного дроту.

Установка Power Wawe 455 M/STT оснащена механізмом подавання електродного дроту Power Feed-10M DUAL. Механізм подавання PF 10M Dual є унікальним – оскільки являє собою два пристрої для подавання, що дозволяють використовувати два різних види електродного дроту для різних процесів. Механізм подавання PF 10M Dual може працювати як з суцільними так і з порошковими дротами. Технічні характеристики установки представлені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.1 Зварювальний апарат Power Wawe 455 M/ STT

До основних переваг зварювального апарату Power Wawe 455 M/STT можна віднести:

- сумісність з передовими зварювальними технологіями – Wave Form Control Technology управління величиною і формою зварювального струму, що включає зварювальні режими Pulse-On-Pulse, Power Mode, Rapid Arc, STT тощо;
- сумісність з передовим протоколом обміну даними для зварювального обладнання ArcLink® дозволяє в стислі терміни інтегрувати пристрій з будь-яким зварювальним джерелом, що підтримують даний протокол;
- зручний користувальницький інтерфейс, легко читається цифровий дисплей робить експлуатацію простою і зрозумілою;
- програмне забезпечення Weld Manager® дозволяє використовувати бездротовий доступ до зварювальної системи і обслуговувати декілька зварювальних систем з допомогою кишенькового комп'ютера;
- відповідає вимогам стандартів IEC974-1.

Power Wawe 455 M об'єднує в собі останні досягнення в силовій інверторній техніці та мікропроцесорне керування з оптимізованим програмним управлінням. Це забезпечує унікальні можливості і простоту використання.

Таблиця 2.2 - Lincoln Electric Power Wawe 455 M/ STT.

	<b>Значення</b>
Напруга мережі, В/Гц	3x380; 50/60
Діапазони струму, А	5...570
Діапазони напруги, В	14,5 ...31,5
Вольтамперні характеристики	STT/CC/CV
Маса катушки, кг	18
Габаритні розміри, мм	663x505x835
Діаметр дроту, мм:	0,8...1,6
Діаметр порошкового дроту	1,0 ...1,6
Маса, кг	114

Зварнику потрібно тільки вибрати одну з більш як 60 зварювальних програм в залежності від типу матеріалу, діаметру дроту і захисного газу

та встановити швидкість подачі зварювального дроту. Джерело автоматично забезпечить оптимальні форму і параметри імпульсу струму, підтримуючи контроль за кожною краплею розплавленого металу.

Багатофункціональний зварювальний апарат з Power Wawe 455 M/ STT підтримує режими: MIG/MAG –напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів, MMA – ручне дугове зварювання, Tandem SAW (зварювання двома дугами суцільним дротом під флюсом), FCAW – зварювання порошковим дротом, STT – перенесення металу силою поверхневого натягу.

Обладнання дозволяє понизити вимоги до професіоналізму зварника і в той же час збільшити якість і продуктивність виконуваних робіт. За цього забезпечується технологічна гнучкість обладнання, включаючи можливість створення нових зварювальних програм для зварювання нових матеріалів. Додаткові модулі дозволяють підключати джерело до локальних комп'ютерних систем для дистанційного контролю роботи обладнання та контролю якості швів, або використовувати в автоматизованих та роботизованих системах.

При виготовленні корпусу сепаратора, для виконання складальних і зварювальних робіт, слід використовувати оснащення. При правильному виборі зварювального оснащення зростає продуктивність праці, зменшується час на виготовлення продукції, відбувається автоматизація процесу зварювання, зменшуються зварювальні напруження та деформації.

Велосипедні візки переміщуються по двох рейках, розташованих у вертикальній площині. Візки виготовляють із колон, встановлених на самохідні платформи, які переміщуються по нижній рейці. У верхній частині колони розміщені ролики, що переміщуються по рейці, і утримують візок у рівновазі.

Велосипедні візки займають порівняно невелику виробничу площу, але можуть розташовуватися переважно біля стіни приміщення, тому що при їхньому розташуванні в середині прольоту потрібний монтаж спеціальної конструкції для кріплення верхньої рейки. У деяких випадках верхня рейка візка закріплюється на колонах. Разом з тим цей спосіб може бути застосований тільки при достатньо великій жорсткості колон, тому що в



іншому випадку, при проході мостового крану, коливання колон можуть передаватися зварювальному апарату, що суттєво знизить якість шва. Щоб уникнути цього явища, кріплення кронштейнів, які підтримують верхню рейку, до цехових колон, виконують за допомогою амортизуючих гумових прокладок.

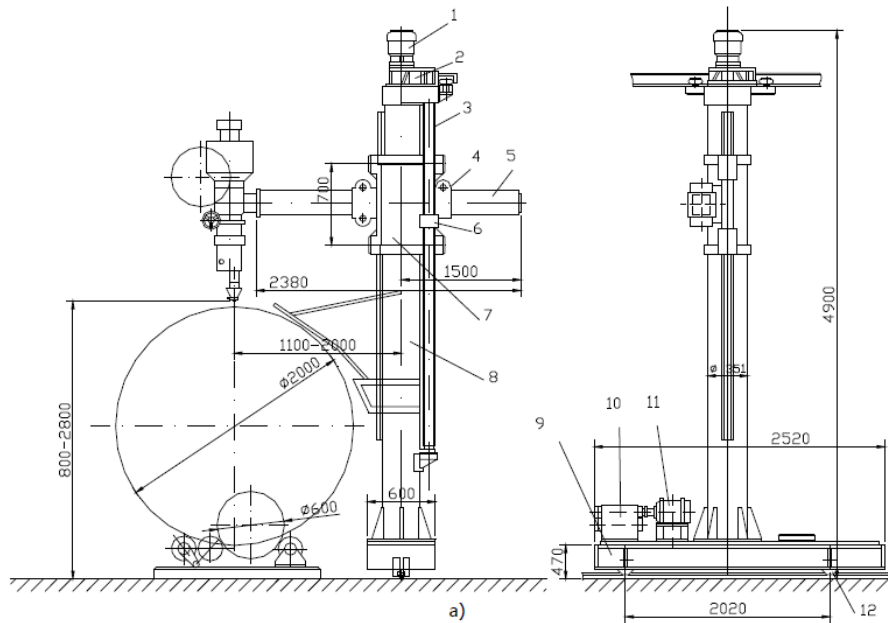
Велосипедний візок ВТ - 1 (рис.2.2) складається з консолі, каретки, стояка, платформи, стояка і електроприводів для пересування візка, горизонтального і вертикального переміщення консолі. Візок рухається за допомогою електродвигуна через редуктор встановлений на платформі. Він переміщається по нижній рейці на котках і верхніх напрямних, що закріплені на колонах.

Велосипедний візок може переміщатися з робочою зварювальною і маршовою швидкостями. Робоча швидкість регулюється зміною числа обертів електродвигуна постійного струму. Переключання з робочої швидкості на маршову здійснюється за допомогою електромагнітної муфти.

Вертикальне переміщення каретки з консоллю здійснюється електродвигуном через двоступінчасту зубчасту передачу, ходовий гвинт і гайку, що закріплена на каретці. Каретка може переміщатись по вертикальних напрямних стояка на спеціальних роликах. Горизонтальне пересування консолі здійснюється за допомогою електродвигуна, через двоступінчасту зубчасту передачу.

Прямолінійні шви виконують за рахунок переміщення візка із розміщеним на ньому зварювальним апаратом по рейках з робочою зварювальною швидкістю. Кільцеві шви виконують при нерухомому візку та обертанні виробу з робочою швидкістю зварювання.

Для виконання кільцевих швів в роботі передано роликівий обертач. Роликові обертачі призначені для розташування виробів в необхідному положенні при зварюванні поздовжніх швів і для обертання виробів зі зварювальною швидкістю при з'єднанні кільцевих швів. Їхньою перевагою є велика вантажопідйомність і широкий діапазон діаметрів зварних виробів

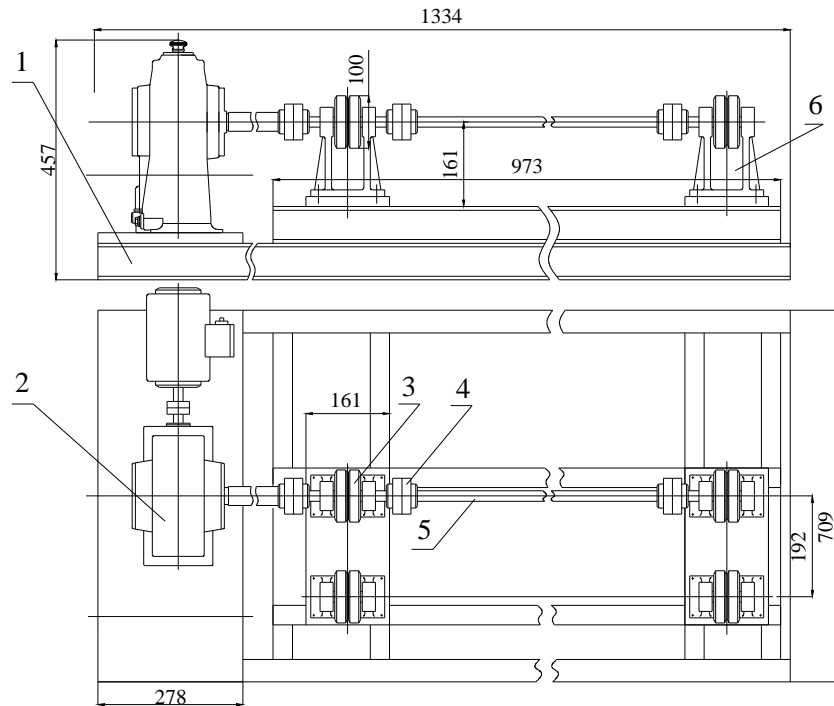


*1-електродвигун, 2- двоступінчаста зубчата передача ,3- ходовий гвинт, 4- напрямна,5- консоль, 6-гайка ,7- каретка,8- стояк ,9- платформа ,10 - редуктор ,11- електродвигун,12- катки .*

Рисунок 2.2 – Велосипедний візок ВТ-1

Роликові обертачі мають призначення для обертання виробів циліндричної форми зі зварювальною швидкістю при зварюванні кільцевих швів, та для обертання виробів з маршовою швидкістю і установа їх у зручне положення при виконанні складальних робіт, обробленні та контролі.

На роликових обертачах можуть зварюватися так само конічні і сферичні вироби. Такі роликові обертачі мають два ведучі ролики, розташовані в одній площині, а інші ролики є холостими. Для запобігання осьового переміщення виробу в процесі обертання, передбачено упорний торцевий ролик. Схема роликового обертача представлена на рис.2.3. Такого типу обертач використовується для конструкцій довжиною 100 - 10000 мм.



*1 – станина; 2 – редуктор привода; 3 – приводна роликоопора;  
4 – муфта; 5 – поздовжній вал; 6 – холоста роликоопора.*

Рисунок 2.3 - Схема роликового обертача

Для приварювання патрубків використовуємо маніпулятор TRP 6000 E (рис. 2.4). Маніпулятор ставить заготовку в зручне для виконання процесу зварювання положення. Після завершення зварювання готову конструкцію знімають з маніпулятора і подають для виконання контролю якості. Крім зварювання за допомогою маніпулятора можна виконувати технічний огляд та технічну діагностику.

Універсальний маніпулятор TRP 6000 E може бути використаний для повороту виробів на маршовій швидкості й установлення їх у положення, зручне для напівавтоматичного й ручного зварювання. Станина маніпулятора являє собою зварну конструкцію. До станини кріпляться стіл з механізмом обертання планшайби й зубчастий сектор механізму нахилу.

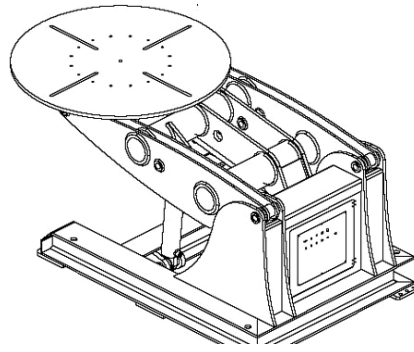


Рисунок 2.4 - Універсальний маніпулятор TRP 6000 E

Маніпулятор оснащений пристроєм, який призначений для автоматичного зупинення після закінчення зварювання шва з перекриттям. За цього виріб кріпиться на планшайбі з Т-подібними пазами за допомогою кріпильних пристосувань. Технічна характеристика зварювального маніпулятора вказана в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика маніпулятора Т-25

Найменування параметра	Характеристика
Найбільша вантажопідйомність, кг	6000
Діаметр кругових швів, що зварюють, мм	250-1500
Найбільший кут повороту планшайби, град	360
Найбільший кут нахилу планшайби, град	120
Швидкість нахилу планшайби, об/хв	1
Номінальний зварювальний струм (ПВ-100%), А	1200
Габарити , мм	1265x1195x900
Маса, кг	2600
Найбільший крутний момент, Н·м	2000
Струм живильної мережі, В	380

Для обертання корпусу під час приварювання опор використовується трубний обертач U100. Трубний обертач призначений для обертання заготовок на 3600 з наклоном передньої та задньої частини від горизонталі.

## 2.2. Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями

У процесі зварювання металевої конструкції в ній можуть виникати залишкові напруження і деформації, наслідком яких є спотворення проектних форм і розмірів виробів, які вимагають для відновлення, небажаного зовнішнього силового впливу. При експлуатації залишкові напруження і пластичні деформації металу можуть стати причиною втомного і крихкого руйнування, зміни жорсткості, зменшення корозійної стійкості та точності звареної конструкції.

У випадку якщо значення напружень не перевищують межі пружності металу, то після охолодження тіла ці напруження зникнуть. Залишкові напруження при охолодженні тіла повністю не знімаються, оскільки вони пов'язані з незворотними пластичними локальними деформаціями та структурними змінами в будові матеріалу коли величина напружень в них перевищує межу плинності матеріалу конструкції, механізмом їх зниження є релаксація

Напруження ( $\sigma$ ) - це міра інтенсивності внутрішніх сил пружності, контактної взаємодії окремих частин тіла, на які воно може бути розділене відповідними перерізами. Нормативний документ ДСТУ 2825–94 визначає, що це є вектор внутрішніх сил, які діють на одиницю площі елементарного об'єму при стягуванні його у точку. Зварювальні напруження належать до власних, тому, що існують у тілі при відсутності зовнішніх сил. Особливістю власних напружень є їхня взаємна зрівноваженість у будь-якому перерізі тіла.

Розрізняють - теплові напруження, викликані нерівномірним розподіленням температури при зварюванні; структурні напруження, що виникають внаслідок структурних перетворень та супроводжуються переохолодженням аустеніту в навколо шовній зоні та утворення продуктів закалки мартенситу. В залежності від часу існування власних напружень і деформацій розрізняють: тимчасові, що існують в конструкції лише у певний період часу; залишкові, які залишаються після завершення дії навантаження.

В залежності від об'єму, в межах якого має місце зрівноваження розрізняють напруження першого, другого і третього роду.

Напруження першого роду зрівноважуються в об'ємах, співмірних з об'ємом усієї конструкції та мають відповідну орієнтацію відносно осей зварного з'єднання. Напруження другого роду зрівноважуються в мікроскопічних об'ємах, співмірних з окремими зернами металу, а напруження третього роду зрівноважуються в субмікроскопічних об'ємах, співмірних з розміром кристалічної ґратки.

Комплекс боротьби із зварювальними напруженнями можна розділити на дві групи:

- міроприємства, що запобігають ймовірність виникнення деформацій та напружень або зменшують їхній вплив: послідовність виконання зварювання, закріплення, попереднє зворотнє вигинання, підігрівання, правильний вибір зварювальних матеріалів, режимів зварювання, в особливості забезпечення мінімального тепло вкладення, правильний вибір способу зварювання;

- міроприємства, що забезпечують подальше виправлення деформацій і знімання напружень: механічне правлення, проковування шва, термооброблення.

Для зниження зварювальних залишкових напружень нині широко застосовуються способи реалізовані механічним впливом. До них відносяться: ультразвукова обробка, вібраційна обробка, способи ударного і вибухового навантаження, прокатка, проковка, принцип яких полягає в створенні пластичної деформації протилежного знака, яка приводить до зниження або повного зникання розтягуючих залишкових напружень в зварній конструкції.

Для нашого випадку основним чинником боротьби з напруженнями та деформаціями є спосіб зварювання за рахунок мінімального тепло вкладення в деталь. Суттєвим чинником також є вдало підібрана зварювальна оснастка та розроблений технологічний процес проведення складально-зварювальних робіт.

## **2.3. Автоматизований технічний контроль та виправлення браку**

### **2.3.1 Дефекти , що виникають при зварюванні конструкції**

У зварювальному виробництві розрізняють дефекти підготовки виробів під зварювання і дефекти, що виникають в процесі зварювання. Зварювальні дефекти можуть бути зовнішніми і внутрішніми. Руйнівні методи контролю застосовують, як правило, для визначення внутрішніх макроскопічних дефектів. Зовнішні дефекти зварювання зазвичай виявляють зовнішнім оглядом. [3] Неточності допущені дефекти при підготовці і складанні призводять до появи власне зварювальних дефектів. Найбільш характерні дефекти цього типу: неправильний кут скосу кромки в швах; занадто велике чи мале притуплення по довжині кромки; мінливість зазору між кромками; розбіжність стикуються площин кромки; розшарування і забруднення на крайках тощо.

Правильність складання контролюють зовнішнім оглядом і геометричними вимірами за допомогою шаблонів і спеціалізованого інструменту. Форма і розміри швів задаються технічними умовами. При зварюванні плавленням, як правило, регламентують ширину і опуклість шва, число проходів і глибину проплавлення. Шви можуть мати нерівномірність, яка з'являється внаслідок нестійкого режиму зварювання, нерівномірності зазору і кута скосу кромки.

Неправильна форма швів є наслідком неточного напрямку електрода щодо оброблення. У разі недостатньої швидкості подачі електродного дроту при даній швидкості зварювання, збільшення кута скосу кромки або зазору між ними, протікання металу в зазор виникає так звана неповномірність зварних швів. У місцях розташування прихваток через нестабільність зварювального процесу з'являється нерівномірність шва. Пори утворюються при зварюванні забруднених кромки металу, поганому зачищенні від окалини, іржі. Пори і шлакові включення утворюються часто внаслідок недостатнього зварювального струму і надмірно великій швидкості зварювання.

Розміри пір і шлакових включень коливаються від кількох мікрметрів до декількох міліметрів. Форма їх зазвичай сферична. Шлакові включення можуть розташовуватися на границі оплавлення основного металу з наплавленим, неповари найчастіше - в корені шва. Шлакові включення можуть викликати місцеву концентрацію напружень і знизити міцність з'єднання.

Зустрічаються мікроскопічні шлакові включення - забруднення у вигляді нітридів, сульфідів, легкоплавких евтектики, оксиду заліза. На поверхні зварних швів утворюються підрізи, що являють собою поглиблення в основному металі, що з'являються в процесі зварювання уздовж краю шва. Підрізи зменшують переріз виробу, викликають концентрацію напруг і можуть стати причиною руйнування швів.

При обриві дуги утворюються кратери у вигляді заглиблень, які зменшують робочий перетин шва, знижують його міцність і корозійну стійкість. Часто кратер служить осередком появи тріщин. В результаті великого зварювального струму, надмірно високої погонної енергії утворюються пропали. Місце прожога має бути повторно заварено. Найбільш часто зустрічаються дефекти - це пори. Частина з них виходить на поверхню. З каналних пор зазвичай розвиваються свищі, - наскрізні дефекти.

Поверхневі дефекти можна виявити візуально і виправити. Якщо допускаються невеликі дефекти формування, то це повинно бути обумовлено в інструкціях і технічних умовах на виготовлення даного виробу. Значна кількість поверхневих дефектів зазвичай вказує на наявність і внутрішніх дефектів.

До внутрішніх дефектів, що порушують суцільність зварного з'єднання, можна віднести пори, тріщини, неповари, несплавлення тощо. Тріщини є дуже небезпечними дефектами, тому що створюють різку концентрацію напружень. Іноді тріщини виникають при охолодженні зварених заготовок на повітрі. Вони можуть розташовуватися уздовж і поперек зварного з'єднання, а також в основному металі, в місці зосередження швів і приводити до руйнування звареної конструкції. Зварні з'єднання з тріщинами підлягають виправленню.



Несплавлення кромок основного металу з наплавленим або шарів шва між собою при багат шаровому зварюванні називають непроваром, що являє собою несучільність між основним і наплавленим металом. Непровари найчастіше утворюються при невеликому зазорі між крайками і малому куті їх скосу, завищеному притупленні і забрудненні кромок, неточному напрямку електродного дроту щодо місця зварювання, недостатньому зварювальному струмі або надмірно великій швидкості зварювання. Вони знижують працездатність зварного з'єднання за рахунок ослаблення робочого перерізу, створюють концентрацію напружень в шві. Згадані вище дефекти зустрічаються при зварюванні плавленням. Вони зменшують робочий перетин шва, створюють концентрацію напружень і сприяють прискореного руйнування конструкції. Якщо в зварному з'єднанні судин і трубопроводів є наскрізні дефекти, то через них відбувається витік рідин і газів.

### **2.3.2 Візуальний контроль**

Візуальному контролю піддаються всі завершені зварні з'єднання. Перед візуальним контролем зварні шви і прилегла до них поверхня основного металу шириною не менше 20 мм (по обидві сторони шва) повинні бути очищені від шлаку, бризок розплавленого металу, окалини та інших забруднень. Візуальний контроль проводиться неозброєним оком або за допомогою лупи 4-7 кратного збільшення для ділянок, що вимагають уточнення характеристик виявлених дефектів, із застосуванням, при необхідності, переносного джерела світла.

Неприпустимими дефектами, виявленими при візуальному контролі зварних з'єднань, є: тріщини всіх видів і напрямків; непровари (несплавлення) між основним металом і швом, а також між валиками шва; напливи (напливи) і бризки металу; незаварені кратери; свищі; пропали; скупчення і включення пір.

Виявлені при візуальному і вимірювальному контролі дефекти, які можуть бути виправлені (видалені) без подальшої заварення повинні бути виправлені до проведення контролю іншими методами. Вимірювальний контроль зварних з'єднань (визначення розмірів швів, зміщення кромок,

перелом осей, поглиблень між валиками, лускатий поверхні швів) слід виконувати в місцях, де допустимість цих показників викликає сумнів при візуальному контролі, якщо в нормативній документації немає інших вказівок. Розміри і форма шва перевіряються за допомогою шаблонів, розміри дефекту за допомогою вимірювального інструментів. Контроль проводиться зварювальником після зачищення поверхні. Результати контролю вважаються задовільними, якщо не виявлені тріщини, незаварені пропали і кратери, скупчення, поверхневі пори (включення), що перевищують норми, і інші дефекти, що свідчать про порушення режиму зварювання або про недоброякісність зварювальних матеріалів. При виявленні неприпустимих дефектів питання про продовження зварювання або способі виправлення дефектів повинен вирішувати керівник зварювальних робіт.

### **2.3.3 Ультразвуковий метод контролю**

Ультразвуковий метод контролю призначений для виявлення у швах стикових, кутових, таврових і напусткових зварних з'єднань несправів, тріщин, несплавлень, пор і жужільних включень, розміри яких перебувають у межах чутливості методу.

Ультразвуковому контролю підлягають зварні з'єднання з повним проплавленням елементів, що зварюються, які задовільняють вимоги дефектоскопії, коли:

- співвідношення ширини валика (розмірів катетів у кутових, таврових і напусткових) у стикових з'єднаннях і товщини металу в з'єднанні забезпечує можливість прозвучування всього перерізу шва акустичною віссю ультразвукового променя;

- є вільний доступ до пришовної зони - контрольованої ділянки шва по обидва боки однієї площини стикового з'єднання;

- з протилежної поверхні листів у зоні контролю відсутні приварені монтажні елементи, а також вм'ятини, подрізи і бризки металу, які можуть привести до відбиття від них ультразвукових коливань;

- радіус кривизни деталей, що зварюються, у будь-якому перерізі не менше 500 мм.

Ультразвуковий контроль може проводитися слідом за зварюванням після охолодження металу в зоні переміщення перетворювача нижче 60°C. Для забезпечення нормальних умов роботи дефектоскопіста, щообумовлюють надійність і вірогідність контролю, останній повинен вироблятися, як правило, при температурі не нижче 5°C.

Для ультразвукового контролю повинна застосовуватися апаратура, що включає:

- ультразвуковий імпульсний дефектоскоп;
- перетворювачі, які випускаються серійно промисловістю;
- стандартні зразки;
- іспитові зразки, якщо вони передбачені виробничою інструкцією (технологічною картою) на контроль;
- допоміжні пристрої й пристосування для дотримання заданих параметрів сканування, якщо застосування їх передбачене виробничою інструкцією (технологічною картою) на контроль;
- спеціальні перетворювачі й допоміжні пристосування й шкали для виміру характеристик виявлених дефектів з метою ідентифікації їх по класах, якщо застосування цих перетворювачів, пристосувань і шкал передбачено виробничою інструкцією (технологічною картою) на контроль.

Застосовували цифровий ультразвуковий дефектоскоп (наприклад, SONOSCREEN ST10, SONO-FD 1 або SONOWALL 70 з оновленням дефектоскопа). Його давач був здатний передавати та приймати ультразвукові імпульси та відображати їх у повністю випрямленій формі (A-Scan). Зонди з кутовим променем, які підтримували автоматичні тригонометричні розрахунки та програмне забезпечення DAC, DGS або AWS, є абсолютним мінімумом для контролю якості зварного шва.

Пристрій був відкалібрований і виготовлений відповідно до стандарту EN-12668-1. Відомо, що обладнання, яке використовується для офіційної перевірки зварювання, необхідно калібрувати за цим стандартом принаймні раз на рік.

Ультразвукові зонди поділяються на: двоелементні зонди з прямим променем (наприклад, серії TS і TL), зонди з кутовим променем (наприклад, серії WS, WM і WL) - вибір зонда залежить від матеріалу, що перевіряється; необхідно враховувати його геометрію, тип зварного шва, товщину, мінімальний розмір дефекту, який необхідно виявити, і багато інших факторів. Щоб спростити процес вибору зонда, загальним правилом є використання зондів 4 МГц для діапазону товщини від 8 до 50 мм і 2 МГц для 50 мм і більше. Для правильного огляду слід використовувати два кути. Для більш тонких швів до 20 мм рекомендовані кути  $70^\circ$  і  $60^\circ$ . Для більш товстих предметів бажано  $45^\circ$  та  $60^\circ$ .

#### *Схема експертизи.*

Наступним кроком є створення схеми експертизи. Вона чітко відображає зону руху зонда, частину зварного шва, охоплену перевіркою, і точку, де ультразвуковий промінь вводиться в деталь. На досліджуваному об'єкті нульова точка вимірювання повинна бути встановлена постійно і позначена на ескізі. Має бути можливість точно відтворити процедуру випробування на основі звіту, зробленого після завершення випробування.

#### *Зчеплення*

Зазвичай це гель на водній основі, масло, жир або клей для шпалер. Дуже важливо, щоб один і той самий контакт використовувався протягом усієї процедури тестування (тобто калібрування, оцінка втрат при передачі, регулювання чутливості та тестування).

#### *Проведення перевірки*

Спочатку необхідно провести візуальний огляд зварного шва та навколишнього матеріалу, щоб визначити, чи підходить поверхня для ультразвукового тестування. Можуть бути бризки зварювальних швів або інші перешкоди, які можуть обмежувати рух зонда; їх слід видалити перед тестуванням. Крім того, слід

перевірити геометрію зварного шва на наявність можливих витоків коренів або накладень коронки, оскільки це дасть індикацію геометрії.

### *Підготовка обладнання*

Перед тестуванням з кутовими променевими зондами необхідно визначити точку індексу променя та фактичний заломлений кут. Індексна точка променя – це точка, де центр променя виходить із клина зонда. Ця точка є нульовою точкою для всіх тригонометричних вимірювань відстані та глибини. Його можна оцінити за допомогою калібрувального блоку K1\V1.

Перевірка кута заломлення зонда важлива для правильних вимірювань відстані та глибини, її також можна виконати за допомогою блоку K1\V1.

Наступним кроком є калібрування відстані. Ця процедура залежить від вибору зонда та може бути виконана за допомогою блоку K1 або K2. Для правильного калібрування товщина блоку повинна бути більшою за ширину зонда. Калібрування відстані потрібне для отримання точної швидкості звуку всередині матеріалу та затримки датчика для точних вимірювань відстані. Переважним типом калібрування є калібрування за двома точками, коли обидва ці фактори обчислюються одночасно.

Наприкінці необхідно виконати налаштування чутливості тесту. Це передбачає вибір відповідного методу оцінки та створення кривої оцінки на дисплеї пристрою. Метод DAC вимагає спеціально підготовленого калібрувального блоку з того ж матеріалу, як правило, з бічними просвердленими отворами на різну глибину (для досягнення високої точності глибина отворів повинна покривати діапазон фактичного тестування). DGS і AWS не потребують додаткових блоків, оскільки обчислення кривої виконується емпіричним шляхом.

### *Дослідження зварного шва*

Щоб охопити 100% об'єму зварювального шва, зонд кутового променя переміщали вперед і назад перпендикулярно осі зварного шва, з обох боків.



Щоб забезпечити виявлення поперечних розривів, рекомендується рухати зонд вперед і назад під кутом  $90^\circ$  і  $45^\circ$  до осі зварного шва.

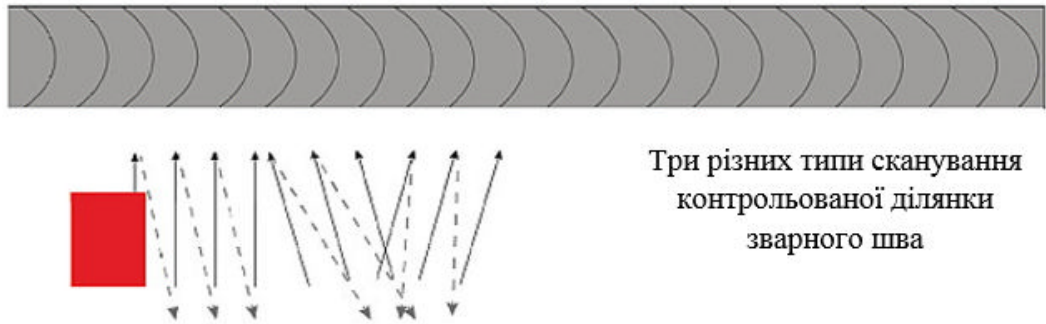


Рисунок 2.5 - Сканування контрольованої ділянки зварного шва

Класифікація розривів: показання слід оцінювати відповідно до їх огинаючої. По-перше, необхідно знайти максимальну амплітуду внаслідок індикації. Якщо амплітуда рівномірно падає до нуля в усіх напрямках, коли датчик віддаляється від індикації, це означає, що розрив менший, ніж ультразвуковий промінь від датчика. Якщо амплітуда не падає до нуля і залишається в межах динамічного діапазону  $-6$  дБ, це означає, що індикація більша, ніж розмір пробного променя.

Помилкові індикації трапляються часто: вони пов'язані з перетвореними хвилями, що виникають через геометрію об'єкта, і їх потрібно правильно оцінити та проігнорувати. Це найскладніша частина в усьому процесі ультразвукового дослідження. Критерії прийнятності: ці критерії визначені в стандарті для кожного класу якості. Щоб проілюструвати це, розглянемо такий приклад:

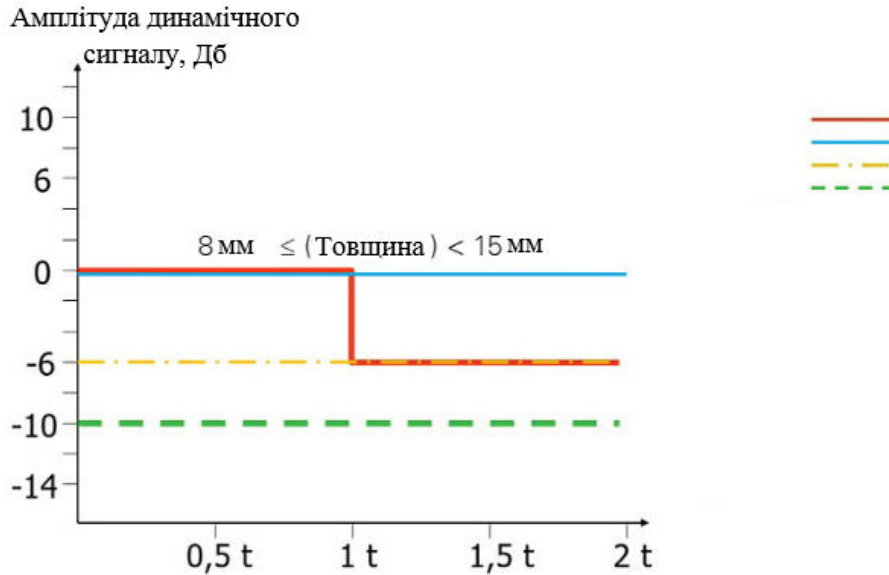


Рисунок 2.6 - Пошук максимальної амплітуди динамічного сигналу

Як видно на наведеному вище графіку, рівень прийнятності дорівнює еталонному рівню (рівню кривої DAC), якщо довжина індикації менша за товщину матеріалу. Для індикацій, які перевищують товщину матеріалу, рівень прийнятності на 6 дБ нижче контрольного рівня (дорівнює рівню реєстрації). Це пояснюється тим, що довгі дефекти становлять більшу загрозу для будь-якої конструкції, ніж точкові дефекти, і тому їх потрібно оцінювати з нижчим рівнем прийнятності.

### Визначення еталонного, реєстраційного та оцінювального рівня

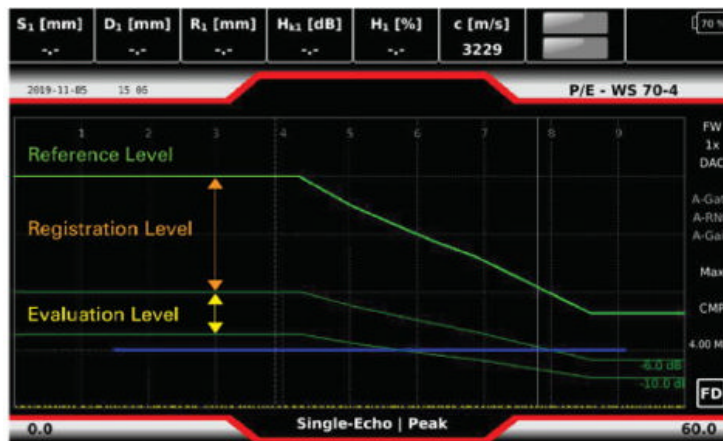


Рисунок 2.7 - Пошук еталонного, реєстраційного та оцінювального рівня сигналу

1. Необхідно визначити метод оцінки та контрольний рівень для кожного типу зонда, що використовується в тесті. Цей вибір тісно пов'язаний з класом якості. Приклад: необхідний метод оцінки ЦАП із двоелементним зондом, де

еталонним є отвір з плоским дном діаметром 3 мм, а для оцінки ЦАП зондом з кутовим променем — 3 мм бічний отвір.

2. Наступним кроком є визначення рівня реєстрації. Вище цього рівня всі показання повинні бути зареєстровані та оцінені (в офіційному звіті про випробування). Приклад: зонди з кутовим променем: усі показання, де амплітуда перевищує -6 дБ від еталонної кривої DAC 3-міліметрового отвору, просвердленого збоку, повинні бути зареєстровані та оцінені. Показники нижче цього рівня не повідомлятимуться.

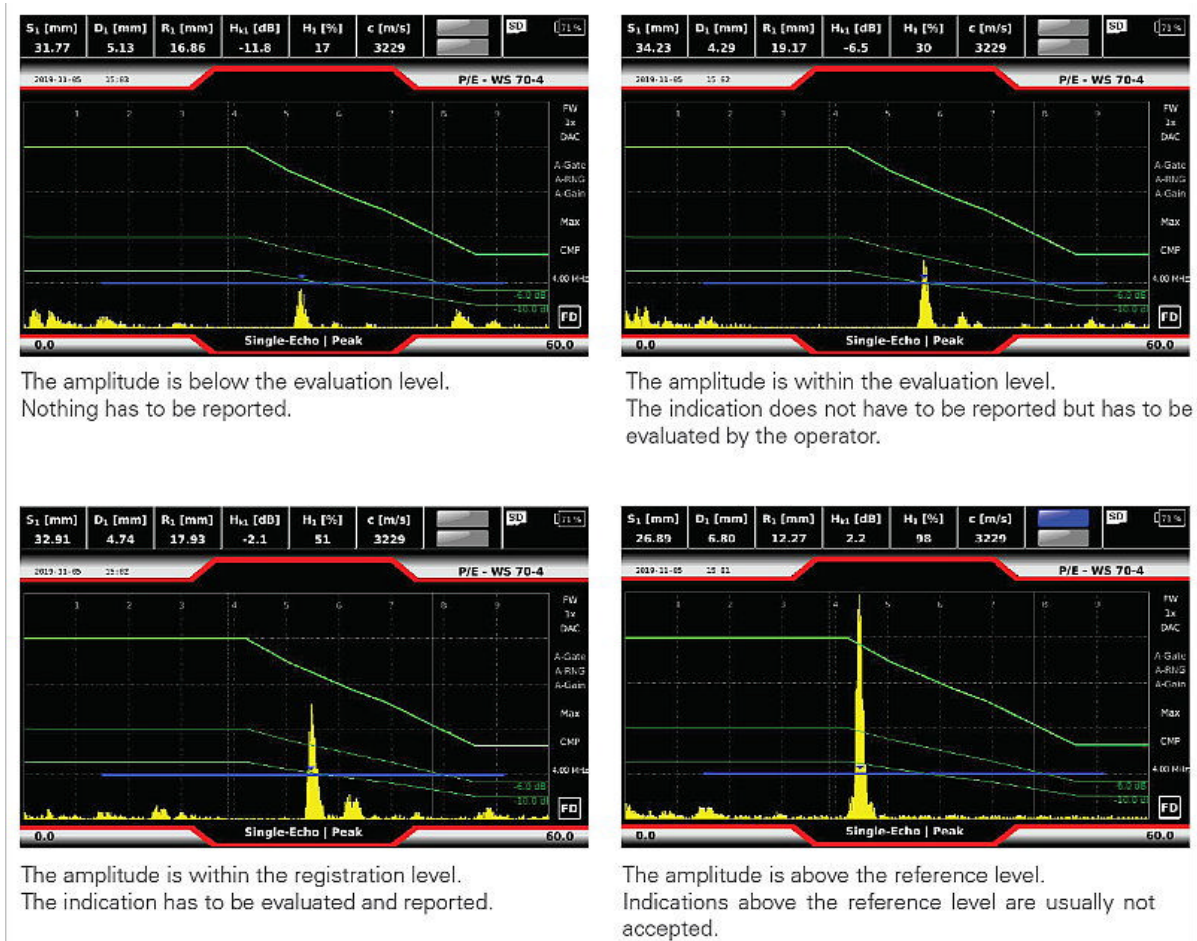


Рисунок 2.8 - Амплітудні значення сигналів на перетині з аналізованими оцінювальними рівнями

На додаток до рівня реєстрації необхідно визначити рівень оцінювання. Це рівень, вище якого необхідно оцінювати всі показання, але не обов'язково повідомляти. Оцінка часто призводить до висновку, що показання занадто малі, щоб бути зареєстрованими у звіті. Вище рівня оцінки оператор повинен подбати



про оцінку амплітуди та переконатися, що вона не перевищує рівень реєстрації. Приклад: зонди з кутовим променем: необхідно оцінити всі показання, для яких амплітуда вище -10 дБ від еталонної кривої DAC 3-мм просвердленого отвору.

Під час перевірки ті показання, які не прийняті, повинні бути незмінними. Перед завершенням і виходом з місця перевірки слід видалити контактну речовину та інші залишки тесту.

### **3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

#### **3.1. Оптимізація параметрів конструкції та процесу виготовлення**

Всі матеріали, які використовуються для виробництва нафтогазового сепаратора повинні пройти вхідний контроль. До початку робіт потрібно перевірити наявність сертифікатів, паспортів на листи, труби, арматуру та всі зварювальні матеріали, які будуть використані для виробництва, а також відповідність маркування – позначенням, які вказані в сертифікатах, паспортах.

Допускається використання матеріалів та сировини, що мають завірені копії сертифікатів підприємства-постачальника. Якість основного металу має відповідати вимогам сертифіката, що висилають заводи-виготовлювачі разом з партією металу. У ньому вказується: найменування заводу-виготовлювача; марка, хімічний склад сталі, профіль та розміри матеріалу, маса металу, номер партії, результати випробувань передбачених стандартом, номер стандарту на сталь даної марки. Вказується вимоги ДСТУ до поверхні металу й дефектів, що припускаються на поверхні.

Заміна марки матеріалу, зазначеної в кресленні, на іншу може бути проведена з дозволу розробника конструкторської документації, головного конструктора та головного металурга підприємства-виробника в установленому порядку. Матеріали, використовувані при виготовленні деталей конструкції, повинні відповідати умовам експлуатації.

Оброблені поверхні деталей корпусу не повинні мати слідів корозії, забоїн, задирок та інших механічних пошкоджень. Гострі кромки повинні бути притуплені, задирки зачищені. Шорсткість металевих деталей повинна відповідати ГОСТ 2789 і технічним вимогам креслень.

Якість механічної обробки необхідно контролювати зовнішнім оглядом, виміром за допомогою універсального вимірювального інструменту і порівнянням шорсткості поверхні з еталонами, виконаними за ГОСТ 9378.

На поверхнях деталей, виготовлених з прокату, що не піддаються механічній обробці, не повинно бути слідів корозії, тріщин, розшарувань, раковин та інших дефектів. Поверхня фланців, патрубків та основних ділянок деталей до зборки має бути очищена від окалини, що відшаровується, масла і бруду. Зварні шви конструкції корпусу потрібно зачищати урівень з її поверхнею. Після вирізання чи висвердлювання отворів, поверхню потрібно зачистити до металевого блиску під зварювання. Трубні грати повинні мати поверхні ущільнювачів під прокладення без поперечних рисок, забоїн, пор і раковин. Шорсткість поверхонь отворів під труби в трубних гратах повинна відповідати вимогам ОСТУ 26-02-1015. Шорсткість поверхонь під прокладення повинна відповідати вимогам ГОСТ2789-73.

При виготовленні деталей застосовують такі основні технологічні операції заготівельного виробництва: правлення, очищення і підготовку поверхні, розмітку, маркування, різання, гнуття, штампування та механічну обробку. В загальній трудомісткості зварювального виробництва заготівельні операції складають 18 %.

Схема виконання заготівельних робіт представлена на рисунку 2.5. Для виготовлення корпусу сепаратора використовується листовий прокат розмірами 6x1700x6000 за ГОСТ 19903-74, що потупає на місце складання листів в складально-зварювальну дільницю. Листи транспортуються за допомогою мостового крану у заготівельне відділення де відбувається їхнє правлення.

Наступним етапом є розмічення листів з подальшим механічним різанням на гільйотинних ножицях НД3316Г. Після різання краї заготовок зачищаються від окалини, масла та бруду до металевого блиску.

Вирізані заготовки вальцюють на вальцях і відбувається їхнє прихоплення. Листи, призначені для вальцювання, не повинні мати розшарувань, тріщин і неметалевих включень. Листи невеликої товщини згинають у холодному стані.


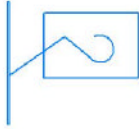
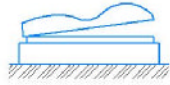

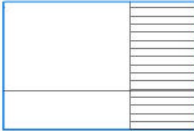

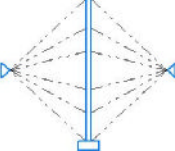
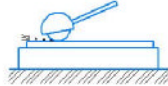
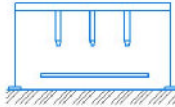
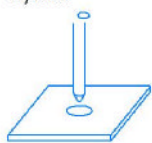

<p><i>Оперції</i></p> <p><i>Деталь</i></p>	<p><i>Гравка</i></p> 	<p><i>Розмітка</i></p> 	<p><i>Механічно різання</i></p> 
<p><i>Лист</i></p> 	<p><i>Листопробильна машина</i> Розмір листа: 6x1700x2800</p>	<p><i>Лист 6x1700x2800</i> ГОСТ 19903-74</p> 	<p><i>Гільюптинні ножиці</i></p>
<p><i>Гнуття</i></p> 	<p><i>Очищення</i></p> 	<p><i>Обробка кромки</i></p> 	<p><i>Термічне різання</i></p> 
<p><i>Механічно обробка</i></p> 	<p><i>Контроль</i></p> 	<p><i>Листо згинальна машина</i></p>	<p><i>Механічний інструмент для очищення</i></p>
<p><i>Апарат повітряно-плазмової різки CUT-100</i></p>	<p><i>Вимірвальний інструмент шовілки</i></p>		

Рисунок 3.1. Схема виконання заготівельних робіт

Перед вальцюванням листів в циліндр необхідно провести спеціальну операцію – підгинання кромки, оскільки при вальцюванні листів в циліндр або конус їхні краї на довжині 100-150 мм залишаються прямими, і при стикуванні таких кінців поверхня ємностей отримує гострий злам на стику. Залежно від товщини листа підведення кромки виконують на кромко згинальних верстатах або на згинальних вальцях, деколи вручну.

Після підведення кромки листи надходять на вальцювання для надання їм необхідної конфігурації. Процес згинання або ж вальцювання виконуємо на трьохвалковій листозгинальній машині ИБ - 2220 з підгинанням двох сторін.



Рисунок 3.2. Загальний вигляд листозгинальної машини ИБ 2220

Процес виробництва зварних конструкцій складається з трьох стадій:

- виготовлення деталей під зварювання;
- складання і зварювання вузлів та виробів;
- виконання оздоблювальних операцій.

Процес складання і зварювання виробів передбачає виконання складально-монтажних операцій і зварювання вузлів та виробів в цілому. До групи оздоблювальних операцій можуть входити наступні технологічні операції: зачищення і оброблення зварних швів; правлення вузлів після зварювання; прокатування металу, проковування або термічне оброблення зварних з'єднань; механічне оброблення, очищення і нанесення захисних покриттів.

Структура трудомісткості робіт зварювального виробництва наведено в таблиці 2.9.

Аналіз даних наведених в таблиці 3.1 показує, що на долю зварювальних операцій припадає 29% від складально-зварювальних робіт та 21% від загальної трудомісткості зварювального виробництва. У процесі здійснення безпосередньо зварювальних операцій при застосуванні механізованих методів зварювання виконуються допоміжні прийоми по встановленні і кантуванні виробів під зварювання, зачищення кромки і швів, збору флюсу, встановлення автомата на початок шва, переміщення автомата або виробів. На виконання цих

прийомів доводиться в середньому близько 30% трудомісткості зварювальних операцій.

Таблиця 3.1. Структура трудомісткості робіт зварювального виробництва

<b>Операції</b>	<b>Одиниці</b>	<b>В загальній трудомісткості</b>	<b>В трудомісткості складально - зварювальних операцій</b>
Заготівельні	%	18	-
Складання вузлів та	%	21	29
Зварювання	%	21	29
Оброблення	%	9	13
Допоміжні операції	%	21	29
Обслуговування	%	10	-

Схема технологічного процесу виконання складально – зварювальних операцій для виготовлення нафтогазового сепаратора представлена на рисунку 3.2. Для виконання прихоплення крайок використовується спосіб зварювання в захисних газах. Корінний шов для всіх стиків виконується за допомогою процесу STT, заповнюючі шви – за допомогою зварювання порошковим дротом. Для виконання зварювальних робіт застосовується зварювальний апарат Power Wave 455 M/ STT.

Для виконання складальних робіт використовується зварювальна оснастка: велосипедний візок ВТ-1, роликовий обертач та універсальний маніпулятор TRP 6000 E.

Зварювальний апарат Power Wave 455 M/STT, укомплектований механізмом подавання електродного дроту Power Feed -10M DUAL – оптимальне рішення для виконання зварювальних робіт, з повним контролем тепловкладення, мінімальною деформацією та низьким рівнем розбризкування. За цього механізм подавання PF 10M Dual є унікальним – оскільки являє собою два пристрої, що дозволяють використовувати два види електродного дроту для різних процесів, а механізм подавання PF 10M Dual може працювати як з суцільними так і з порошковими дротами.

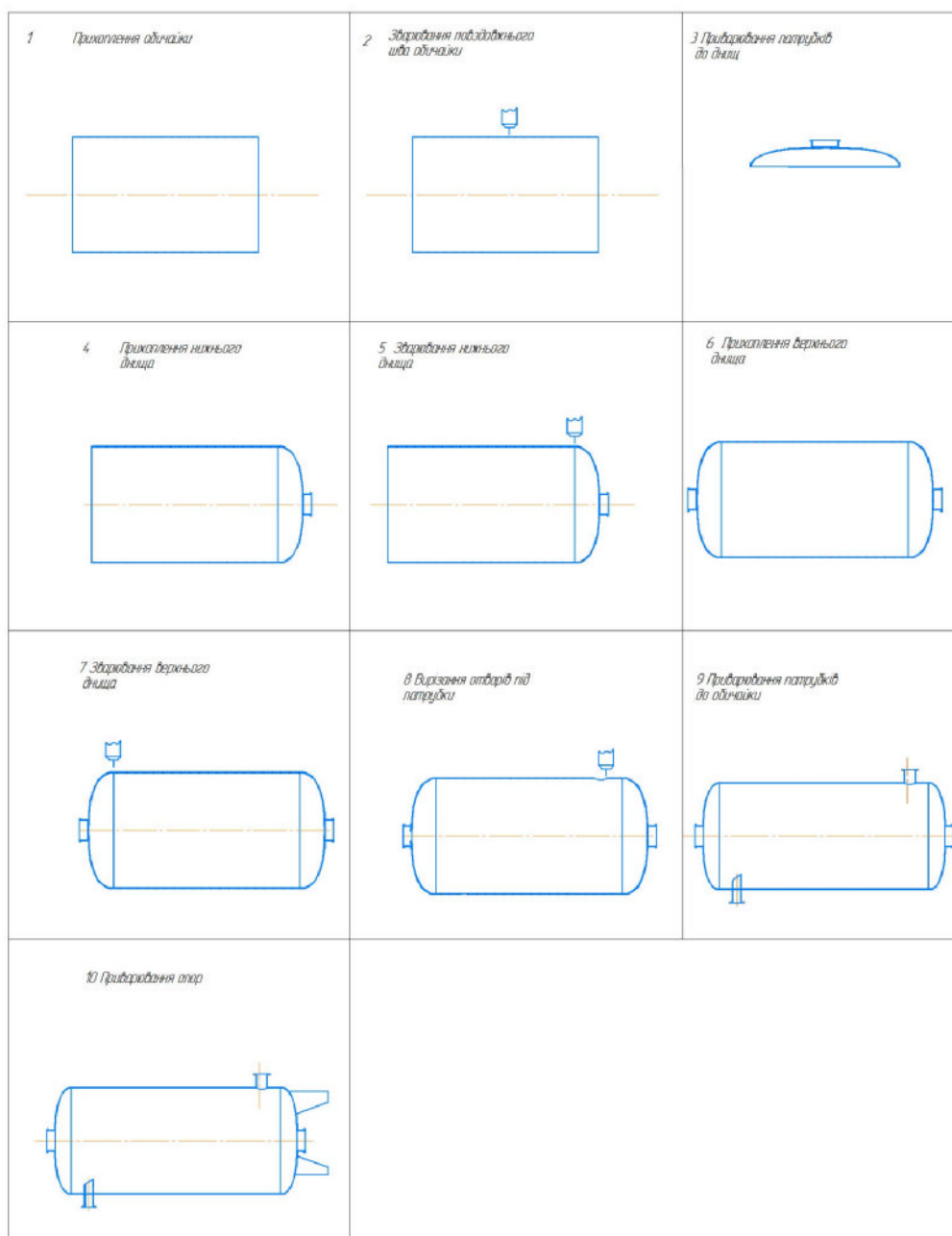


Рисунок 3.3. Схема технологічного процесу виконання складально – зварювальних операцій

Зварювання повздовжнього шва циліндричної частини корпусу проходить за допомогою зварювального апарата Power Wawe 455 M/STT, який кріпиться на глагольному візку ГТ-1. Приварювання патрубків до верхнього і нижнього днища відбувається з використанням універсального маніпулятор TRP 6000 E. Далі готові частини корпусу складаються, центруються та прихоплюються з наступним зварюванням тим же

зварювальним автоматом Wawe 455 M/STT. Прихоплені деталі обертаються із заданою швидкістю зварювання за допомогою роликового стенду. Приварювання опор до корпусу відбувається за допомогою трубного обертача U100. Кінцевою операцією є контроль якості зварних швів корпусу колектора.

Для реалізації технологічного процесу в роботі застосовано комбінований технологічний варіант зварювання. Зварювання кореневого шару шва виконується за допомогою напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу методом STT, а заповнюючих шарів дротом типу Іннершілд.

Спосіб напівавтоматичного зварювання методом STT призначений для одностороннього напівавтоматичного зварювання кореневого шару шва дротом суцільного перерізу конструкцій з товщиною стінок до 32 мм включно, а також для зварювання всіх шарів шва стиків з товщинами стінок до 8 мм включно. В нашому випадку ми використовуємо даний спосіб для зварювання стика з відкритим зазором на “вазі” без використання підкладок.

Основними параметрами процесу STT є: швидкість подачі зварювального дроту, базовий струм, піковий струм та тривалість заднього фронту імпульсу. Швидкість подачі зварювального дроту - впливає на швидкість наплавлення. Більша швидкість подачі зумовлює більш високу швидкість зварювання.

Піковий струм - управляє довжиною дуги і формою наплавленого валика. Збільшення пікового струму призводить до збільшення довжини дуги і формування більш плоскої зовнішньої поверхні шва. Високі значення пікового струму можуть призвести до утворення увігнутої поверхні. Величина пікового струму зазвичай вища за базовий і лежить в діапазоні від 250 до 400 А.

Базовий струм - визначає загальне тепловкладення і форму зворотного валика. Якщо базовий струм дуже високий, то у верхній частині конструкції буде спостерігатися надмірне проплавлення, а в стельовому положенні - провал. Значення базового струму нижче пікового і становить 25 - 100 А.

Гарячий старт - регулює час дії стартового струму, що перевищує на 25 – 50 % встановлене значення, для полегшення запалювання і компенсації впливу на процес холодної деталі. Шкала регулятора стартового струму



проградуїована до десяти.

Максимальне значення шкали відповідає чотирьом секундам. Збільшуючи тривалість заднього фронту імпульсу збільшується тепло, що вводиться в зварювальну ванну без зміни довжини дуги. Це особливо рекомендується при зварюванні високолегованими дротами нержавіючих сталей. При збільшенні даного параметра необхідно знизити базовий або піковий струм, щоб витримати необхідну форму наплавленого валика. Витрата газу в даному процесі зазвичай нижча, ніж при звичайному зварюванні в середовищі захисних газів, тому що розмір ванни менший.

Зварювання STT відноситься до так званих "холодних" процесів. Загальна кількість тепла, яке виділяється дугою значно нижче, ніж при звичайному напівавтоматичному зварюванні в середовищі захисних газів. Однак це не призводить до утворення таких дефектів, як несплавлення, тому, що маленький розмір зварювальної ванни не дозволяє їй втекти і вона постійно знаходиться під контролем зварника.

Високі витрати газу можуть значно остудити зварювальну ванну. Зазвичай вони становлять 12 л / хв. Витрата газу збільшують в тому випадку, якщо зварювання відбувається в польових умовах при вітрових навантаженнях або коли контактний наконечник виступає від торця сопла на відстані більше 6,4 мм. При використанні як захисного газу сумішею аргону необхідно зменшити піковий струм і збільшити базовий.

Процес STT особливо рекомендується для виконання корневих швів при зварюванні конструкцій з зазором. Він дозволяє зварювати конструкції починаючи з простої вуглецевої сталі, закінчуючи сплавами з високим вмістом нікелю.

Зварювання корневих швів традиційно є найскладнішим етапом при виробництві конструкцій як в цехових так і в монтажних умовах. Цей етап висуває певні вимоги до самого процесу зварювання. Використовуючи зварювання STT, з його можливістю керувати механізмом перенесення і особливим контролем за формуванням зварювальної ванни, вдається значно

полегшити виконання кореневого шва.

Режими зварювання STT не є настільки критичними, як це спостерігається при звичайному зварюванні в середовищі захисних газів, і знаходяться в широкому діапазоні. Якщо при звичайному зварюванні конструкції, заданої марки і типорозміру, для отримання якісного з'єднання використовуються конкретні значення напруги дуги та швидкості подачі зварювального дроту (зварювального струму), то процес STT має різні варіанти режимів для цих цілей.

Згідно ГОСТ 16037-80 зазор між кромками складає  $1 + 0,5$  мм. При зварюванні труб процесом STT використовується стандартне розроблення кромки у відповідності до ГОСТ 16037-80. Разом з тим, часто при використанні даної технології встановлюється збільшений зазор, що становить  $2,0 \dots 4,0$  мм. Процес менш чутливий до збирання, ніж звичайні методи зварювання. Режими зварювання кореневого шва приведені в таблиці 3.2.

Існують різні комбінації величин пікового і базового струму, які дозволять отримати необхідну форму кореневого шва. Збільшення розбризкування спостерігається при дуже низькому значенні пікового струму.

При використанні як захисного газу сумішей аргону необхідно зменшити піковий струм та збільшити базовий.

Спосіб напівавтоматичного зварювання самозахисним дротом Innershield використовується для з'єднання заповнюючих та облицювальних шарів стиків конструкцій з товщинами стінок  $6 \dots 20$  мм.

Спосіб зварювання самозахисним дротом має наступні особливості: висока лінійна швидкість зварювання ( $14 - 20$  м/год, в порівнянні з  $4-8$  м/год для електродів з основним покриттям) і має високий коефіцієнт наплавки – приблизно в три рази більший ніж при ручному дуговому зварюванні.

Таблиця 3.2. Режими зварювання кореневого шва

№ п/п	Технологічні параметри	Одиниці	Значення
-------	------------------------	---------	----------

1	Діаметр зварювального дроту	мм	1,14
2	Тип зварювального дроту		L56
3	Захисний газ, CO <sub>2</sub>	%	100
4	Витрати газу	л/хв	10
5	Швидкість подавання дроту	м/год	137- 250
6	Піковий струм	А	400 - 420
7	Базовий струм	А	35 - 55
8	Тривалість заднього фронту імпульсу	мікросекунди	0

Дріт Innershield та наповнювач серцевини, негіроскопічний, тому метал шва в даному випадку має низький вміст водню. Комплекс зварювально-технологічних властивостей, необхідних для з'єднання конструкцій, досягається введенням до складу наповнювача низки нетрадиційних компонентів - фториду літію, фториду барію та алюмінію.

Значні переваги металургійної структури наплавленого електродами Innershield металу так само зумовлені ретельно контрольованим хімічним балансом між трьома елементами - алюмінієм, кремнієм і марганцем. Ця комбінація, формує необхідний рівень розкислення, який знижує або обмежує пористість металу шва, корозійні і пластичні властивості, забезпечує стійкість до утворення тріщин. Крім того, флюс містить різні легуючі добавки, що дозволяють досягти бажаних механічних властивостей, таких як ударна в'язкість металу шва, здатність протидіяти поширенню тріщин, пластичність і міцність. Один з факторів, що поліпшують процес зварювання - висока міцність власне оболонки порошкового дроту, що зумовлює відсутність проблем при її подаванні в зону зварювання.

Самозахисний порошковий дріт може бути використаний у складі наступних комбінованих технологічних варіантів зварювання:

- зварювання кореневого шару електродами з основним видом покриття та всіх наступних шарів дротом типу Іннершілд;
- зварювання кореневого шару шва і "гарячого" проходу електродами з целюлозним видом покриття та всіх наступних шарів дротом типу Іннершілд;
- зварювання кореневого шару шва електродами з целюлозним видом

покриття, "гарячого" проходу і всіх наступних шарів дротом типу Іннершілд;

- зварювання кореневого шару шва за допомогою напіваавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу методом STT і всіх наступних шарів дротом типу Іннершілд.

Процес зварювання дротом Innershield у всіх випадках виконується на постійному струмі прямої полярності. Після запалювання дуги виліт електрода (дроту) повинен бути збільшений до 20 мм, а у стельовому положенні рекомендується його збільшення виліт до 25 - 30 мм (рис.2.8) Встановлення вильоту електрода менше рекомендованої величини призводить до появи пористості, а збільшення - до недостатнього розігрівання кінця дроту, внаслідок чого він починає "стукати" по трубі і процес зварювання стає нестабільним.

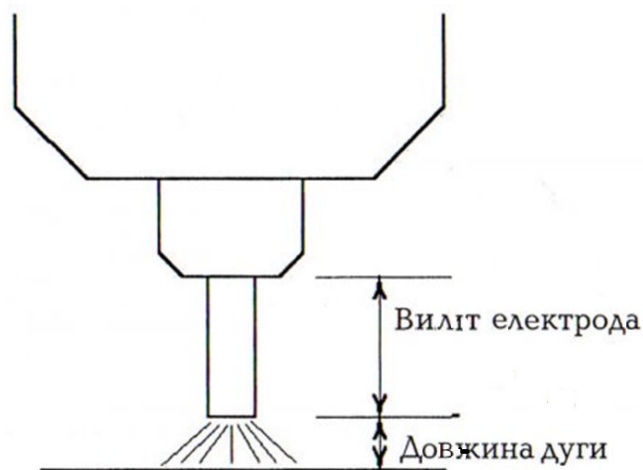


Рисунок 3.3. Визначення довжини вильоту електрода

При зварюванні дротом типу Іннершілд необхідно використовувати спеціальний одяг.

Самозахисний порошковий дріт забезпечує зону зварювання технологічно необхідним шаром шлаку, який знаходиться в зоні повзуна в пластичному або рідкому стані. Режимми зварювання заповнюючого шва приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Режими зварювання заповнюючого шва

№ п/п	Технологічні параметри	Одиниці	Значення
1	Діаметр зварювального дроту	мм	1,7
2	Тип зварювального дроту		NR-207
5	Швидкість подавання дроту	м/год	130
6	Напруга дуги	В	17-18
7	Зварювальний струм	А	205
8	Коефіцієнт наплавлення	Кг/год	1,5

Для даного випадку зварюванням самозахисним дротом виконуємо другий шар. Діаметр захисного дроту за цього складає 1,7 мм. Щоб стики ділянок (“замки”) швів на сусідніх шарах не співпадали, проводимо їхнє зміщення на відстань не менше 12-18 мм. Після зварювання корінного шва, робимо відступ 12-18 мм і починаємо зварювання.

### **3.2. Розробка методу координатних сіток для автоматизованого оцінювання напружено-деформованого стану у вістрі втомної тріщини після одноразових перевантажень**

В роботі запропоновано вдосконалену експериментальну методику дослідження напружено-деформованого стану у вістрі тріщини. Методика полягає у визначенні пружно-пластичних переміщень матеріалу на поверхні зразка та встановленні дійсних напружень в пластичній зоні у вістрі тріщини з використанням вдосконаленого методу координатних сіток [45].

Методика передбачає нанесення сітки (100 точок у  $1 \text{ мм}^2$ ) із сталим

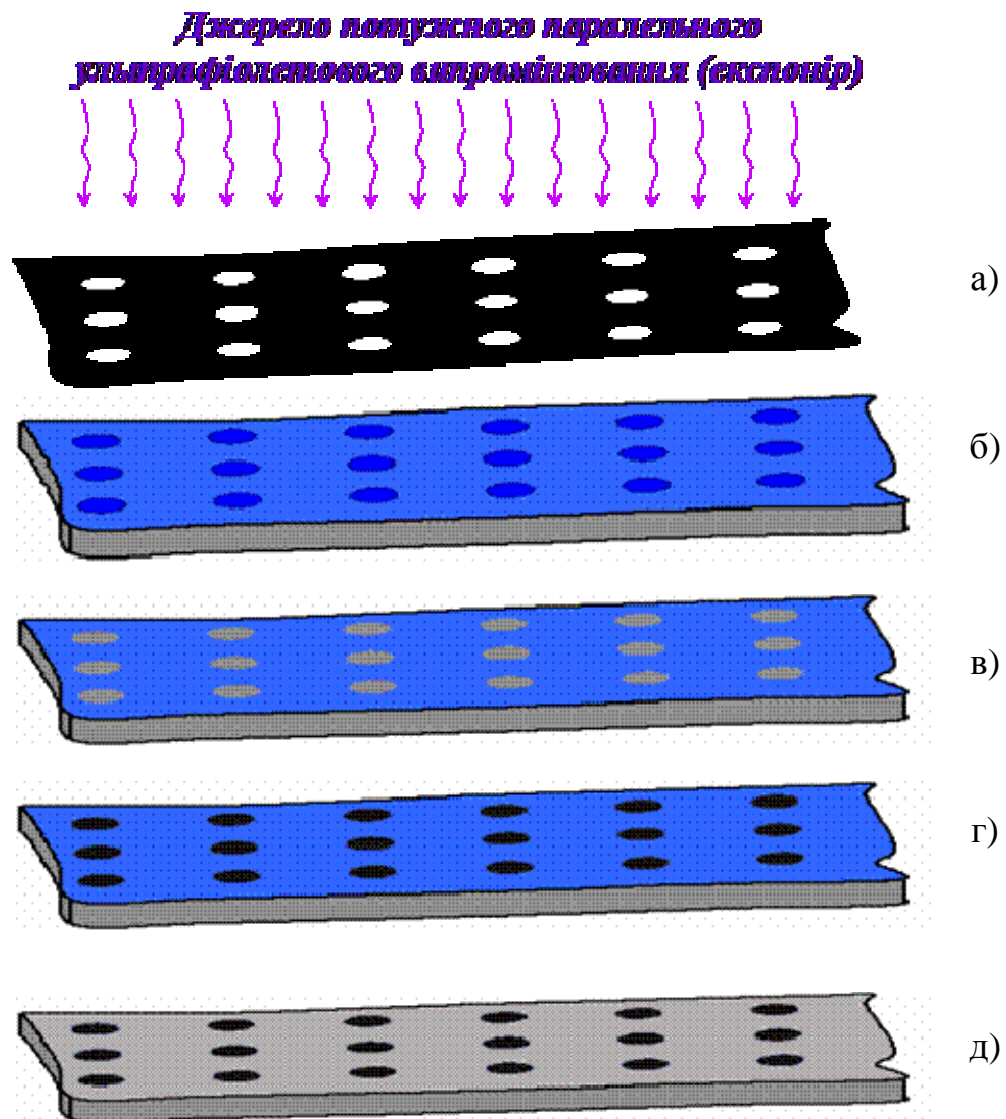


Рис. 3.1 Методика нанесення координатної сітки на поверхню зразка

кроком ( $0,1 \text{ мм}$ ) на поверхню зразка. Діаметр точки  $0,02 \text{ мм}$ . З використанням фотонаборного апарату ScitexDolev4pressVEG750 створено шаблон (рис.3.1, а) вказаної сітки на прозорій плівці. Для переносу зображення шаблону на поверхню зразка використовували позитивний фоторезистивний лак “POSITIV-20”, який напилювали на хімічно підготовлену поверхню зразка (рис.3.1, б). Для експоненціювання зображення шаблону використовували експонір потужного паралельного ультрафіолетового випромінювання, після чого зображення сітки проявляли розчином NaOH (рис.3.1, в). Отримано оптимальні режими опромінювання, а також хімічного проявлювання зображення сітки.

Шляхом хімічного підтравлювання поверхні зразка, покритої фоторезистивною плівкою з зображенням сітки (рис. 3.1, г) розчином насиченого міддю хлорного заліза ( $\text{FeCl}_3$ ), отримували витравлений слід сітки (рис.3.1, д). Глибина отриманих лунок сітки становить 2-3мкм. Така сітка спроможна витримувати великі деформації, зокрема за підвищеної температури, їй властиві достатня точність, сталий крок та контрастність (рис. 3.2).

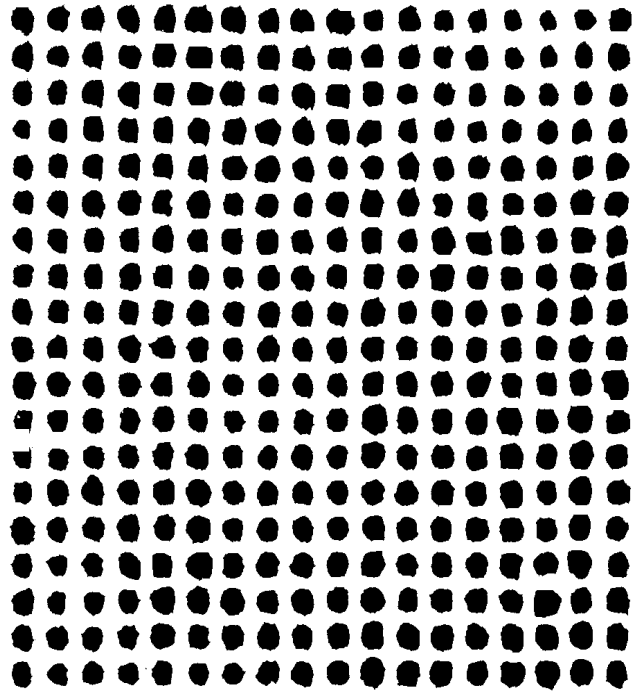


Рис. 3.2 Фотографічне зображення координатної сітки на поверхні зразка

Для фотографування зображення координатної сітки використовували установку (рис. 3.3) зібрану з використанням:

- біноклярний мікроскоп з 70 кратним збільшенням;
- цифрову камеру з високою роздільною здатністю (5 MPix);
- освітлювальне обладнання.

Для оцінки НДС у вістрі тріщини фотографували сітку у вістрі тріщини до навантаження (первинний стан), в момент максимального значення циклу навантаження, та після розвантаження. Деформації у вістрі тріщини за умов плоского напруженого стану визначали використовуючи зображення сітки первинного стану та зображення zdeформованої сітки в момент максимального навантаження. Залишкові деформації визначали шляхом перерахунку, використовуючи діаграму деформування матеріалу (відкидаючи пружну складову). Для визначення залишкових стискувальних напружень у вістрі тріщини використовували зображення сітки після повного розвантажування.

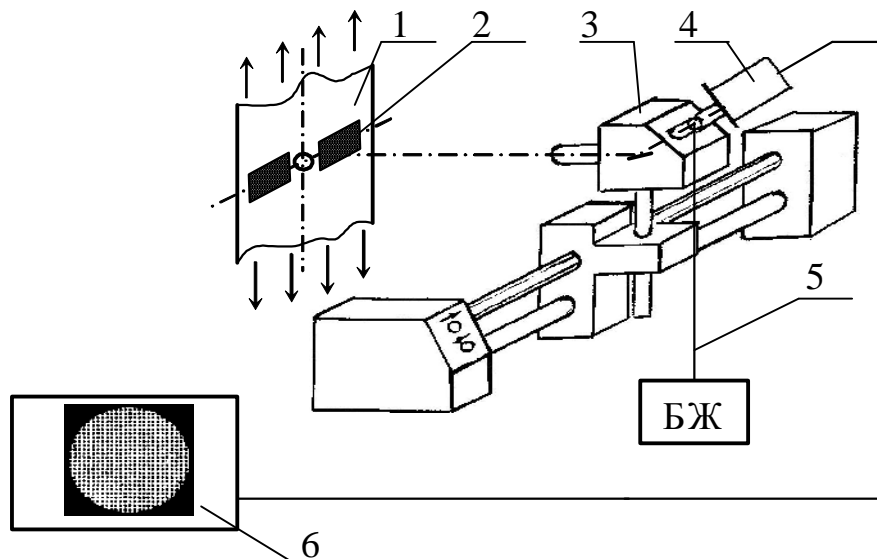


Рис.3.3 Установка для фотографування зображення координатної сітки

1 – зразок; 2 – координатна сітка; 3 – 70х кратний бінокулярний мікроскоп; 4 – фотокамера; 5 – блок живлення освітлювального обладнання; 6 – зображення координатної сітки на екрані монітора.

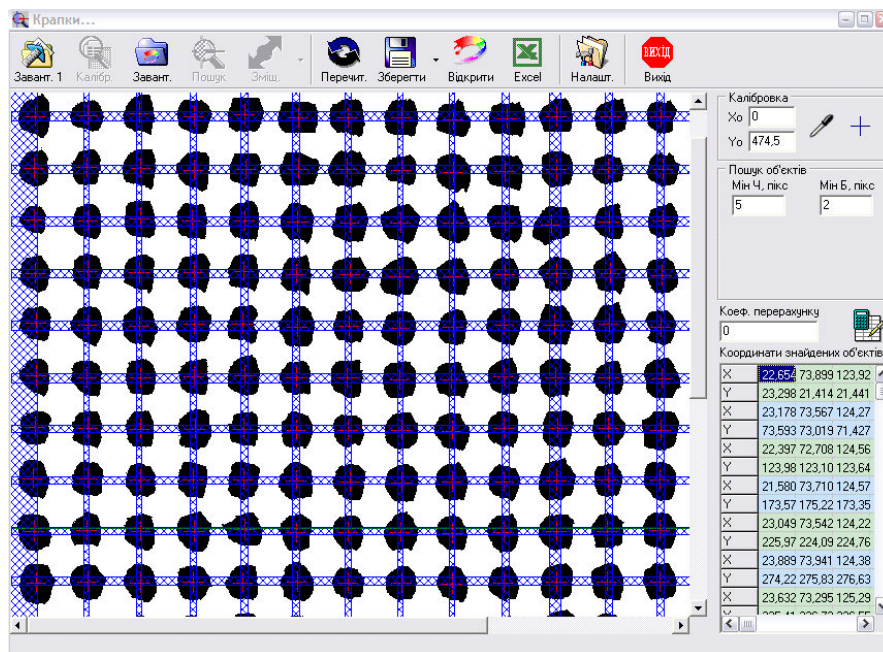


Рис. 3.4 Оцифрування та визначення координат центрів точок координатної сітки первинного матеріалу

Для автоматизованого обчислення переміщень точок мікросітки створено комп'ютерну програму. Програма базується на ідеї побітового оцифрування растрового фотозображення, розробленому алгоритмі визначення координат



центрів точок сітки, ідентифікації відповідних точок на знімках первинного (рис.3.4) та деформованого матеріалів (рис.3.5), а також автоматизованому обчисленні їх переміщень (рис.3.6). На основі визначених переміщень, з використанням діаграми деформування матеріалу проводиться розрахунок напружено-деформованого стану, розмірів пластичної зони та залишкових деформацій (напружень) у вістрі тріщини.

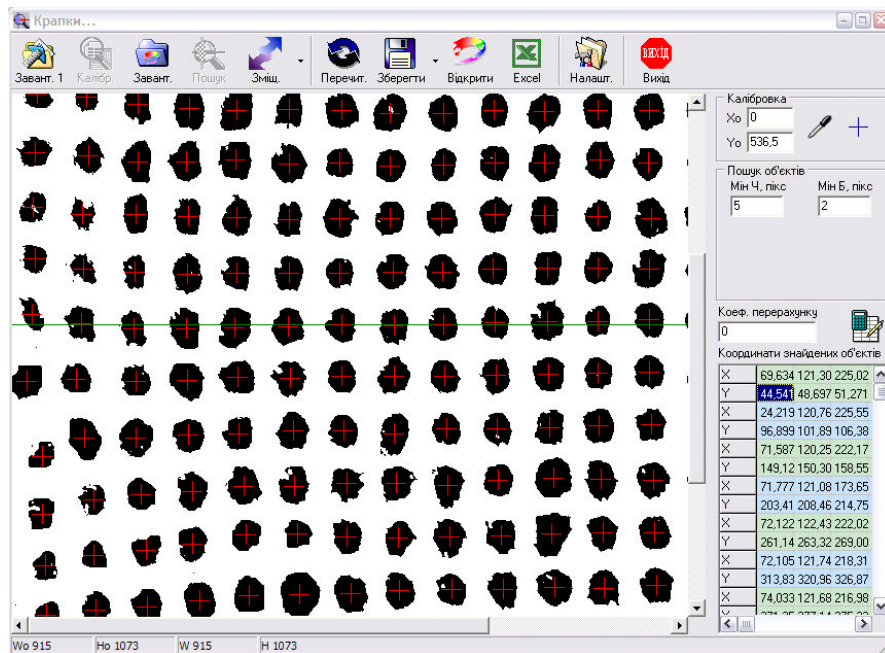


Рис.3.5 Оцифрування та визначенн координат центрів точок координатної сітки деформованого матеріалу

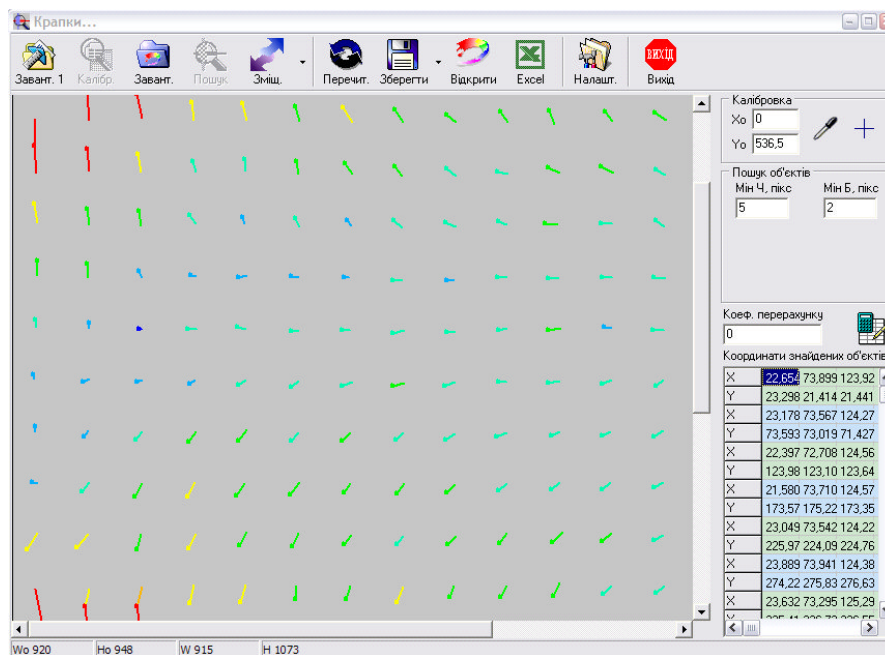


Рис. 3.6. Автоматизоване визначення переміщень точок координатної сітки

### 3.2. Автоматизоване оцінювання деформації у вістрі втомної тріщини після одноразових перевантажень методом координатних сіток

Розглянемо окремий випадок оцінки пружно-пластичних та пластичних деформацій у вістрі втомної тріщини. Використовуючи описані в попередніх розділах методики та зразки вирощували тріщину до довжини  $l=44$  мм тобто на довжину  $l/2=22$  мм. у кожен бік при асиметрії циклу навантаження  $R=0$  і розмаху КІН  $\Delta K=10$  МПа $\sqrt{м}$  для забезпечення якомога менших пластичних деформацій у вістрі тріщини. Після досягнення тріщиною необхідних розмірів проводили фотографування координатної сітки нанесеної у її вістрі (рис. 3.2,а) при повному розвантаженні зразка  $\sigma=0$  МПа. Після цього

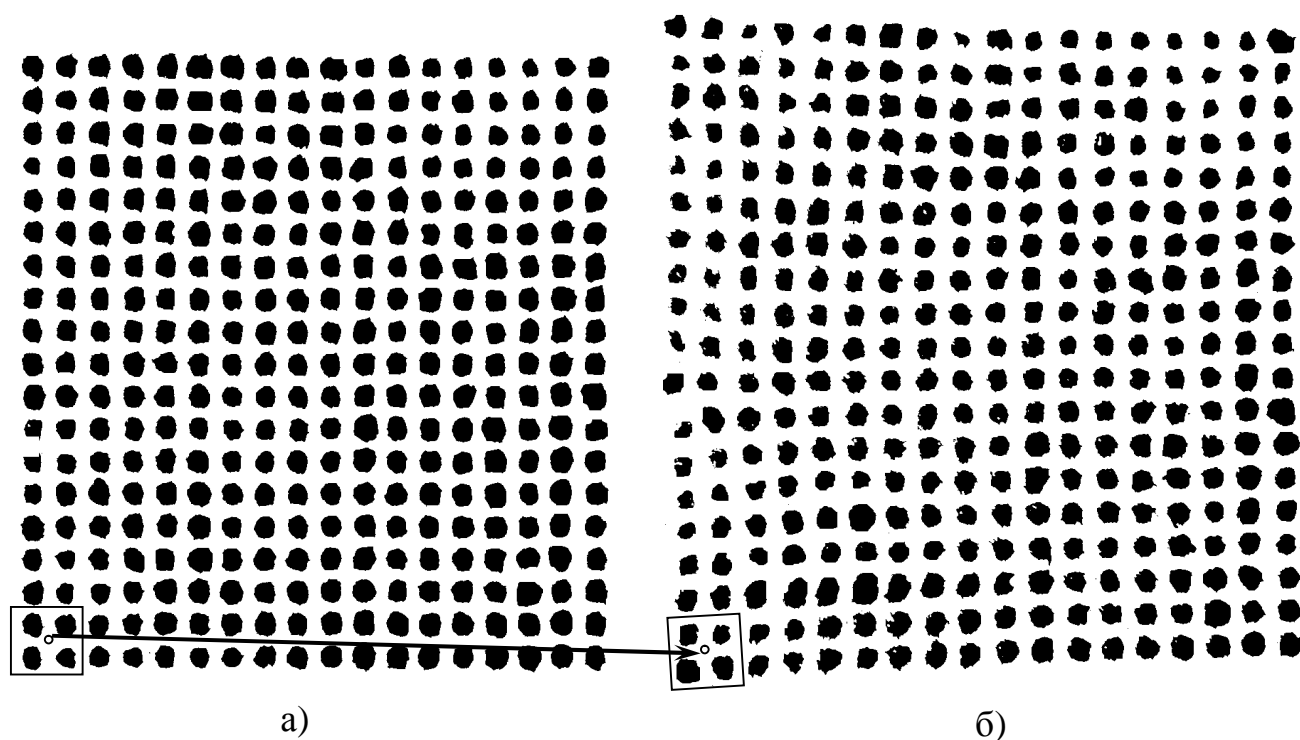


Рис.3.7 Зображення координатної сітки на поверхні зразка при  $\sigma=0$  МПа (а) і при  $\sigma=159,25$  МПа

прикладали зовнішнє зусилля  $P=63,7$  КН (6500К $\epsilon$ ), внаслідок чого у зразку виникали напруження брутто (без урахування зменшення площі поперечного перерізу за рахунок підростання тріщини)  $\sigma=159.25$  МПа. В момент

максимального навантаження сітку на поверхні зразка фотографували (рис.3.2 б)

Отримані зображення оцифровували і визначали координати центрів точок координатних сіток первинного (рис.3.7, а) і деформованого (рис.3.7, б) матеріалу у вістрі тріщини. (рис.3.8). Причому, програма ідентифікує відповідність точок на обидвох зображеннях. Використовуючи вбудований алгоритм розрахунку переміщень точок програма автоматично визначає деформації в заданій точці (заключеній між чотирма точками сітки) деформованого матеріалу, враховуючи приріст між координатами точок окремих чотирикутних сегментів деформованого матеріалу відносно первинного матеріалу (рис.3.7).

На рисунку 3.8 представлено розподіл нормальних пружно-

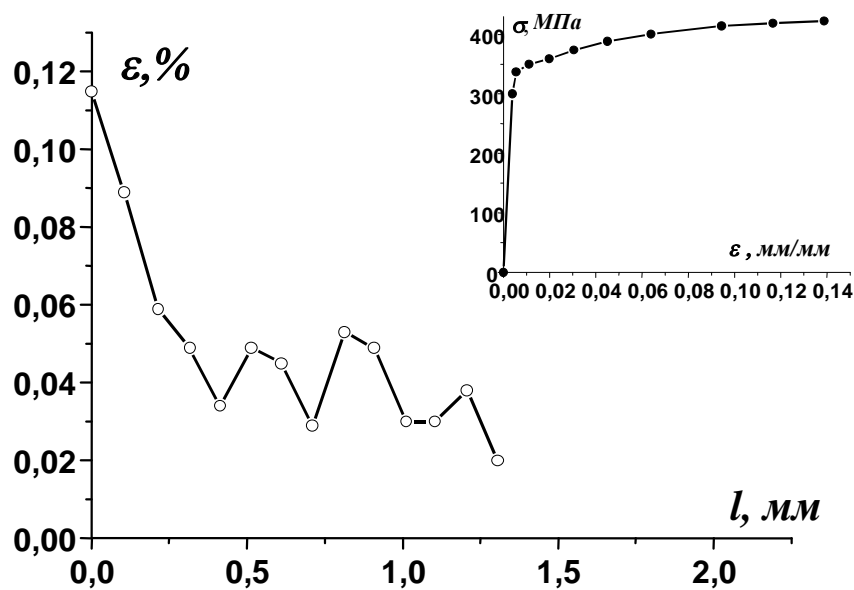


Рис.3.8 Пружно-пластичні деформації у вістрі тріщини при  $\sigma = 252 \text{ МПа}$

пластичних деформацій у вістрі втомної тріщини (у напрямку її росту) визначений методом сіток в момент максимального значення напруження  $\sigma = 252 \text{ МПа}$ . Для зручності аналізу на рисунку представлено діаграму деформування матеріалу.

Для визначення пластичних деформацій у вістрі тріщини, від значень пружно-пластичних деформацій віднімали 0,02% (рис.3.9).

### 3.3. Математична модель формування кластерів деформаційного рельєфу на поверхні плакуючого шару конструкційних алюмінієвих сплавів

За даними праць С.Р. Ігнатовича та М.В. Карускевича кількісне оцінювання пошкодженості можливе за аналізом насиченості деформаційного рельєфу:

$$D = S/A,$$

де  $S$  – площа поверхні з вивленим деформаційним рельєфом;  $A$  – площа контрольованої ділянки. Оскільки зародження, формування і розвиток рельєфу є стадійним процесом, отже за стадією інтенсивного зростання насиченості вивлено стадією насиченості. Для опису цього процесу запропоновано імовірнісну модель формування кластерів.

Початковою стадією є поверхня без ознак деформаційного рельєфу. Насипною – виникнення ділянок локальної мікропластичної деформації, які на фотозображеннях помітні і відображені чорним кольором (рис. 3.3).

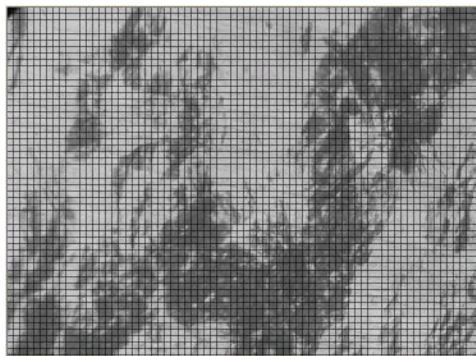


Рис. 3.3. Фотозображення ( $\times 350$ ) ділянки поверхні вкритою деформаційним рельєфом (темні ділянки) з накладенням квадратних комірок сітки

Формування і насичення деформаційного рельєфу можна описати як формування початкових складових рельєфу з лінійним розміром  $a$ , їх накопичення і об'єднання. Проаналізуємо поверхню площею  $A$ , на якій виникає деформаційний рельєф. Розділемо зазначену поверхню на  $N(N \gg 1)$  комірок з лінійним розміром  $a$ . Параметри  $A$ ,  $N$  і  $a$  пов'язані залежністю  $A = Na^2$ .

В кожній елементарній комірці може бути розміщено лише один первинний носій деформаційного рельєфу, а вона належить до вторинної фази. У разі, якщо дві, або більше таких комірок є поряд, вони формують кластер, з «значенням», що дорівнює кількості комірок, що належать кластеру. Масу кластеру описують параметром  $S$  ( $S=1, 2, \dots$ ), який характеризує кількість комірок вторинної фази в кластері. Кількість кластерів масою  $S$  можна позначити  $n_S$ .

Оскільки кожна комірка, аналізованої області  $A$  має суміжні комірки, кількість найближчих «сусідів»  $z$  є координаційним значенням сітки. Це значення визначає форму комірок і спосіб їх «упаковки». Наприклад, для трикутних комірок з бічним компонуванням (за вписаним колом)  $z=3$ , а з бічним компонуванням по сторонах і вершинам (за описаним колом)  $z=6$ . Для квадратних, відповідно,  $z=4$  і  $z=8$ .

Описна схема дискретизації комірками області  $A$  може бути перетворена у класичні системи зв'язків або вузлів.

## 4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Для експериментальних досліджень використано платформу MTL32 яка забезпечує керування випробувальною установкою СТМ-100 за допомогою 32-бітного контролера серії 2370.



Рис. 4.1. Зразок на автоматизованій випробувальній установці

Це дозволило реалізувати підключення за схемою GDS (Global Data Sharing). Програмне забезпечення випробувального комплексу містить кілька тестових підсистем:

1 станція – 1 привід;

1 станція – кілька приводів;

багато станцій – 1 привід;

багато станцій – багато приводів.

Програма дозволяє:

- здійснювати керування вимірюваннями;

- здійснювати керування записом експериментальних даних;

- реалізовувати різні види навантаження (синусоїдальне, статичне та імпульсне);

- виконувати калібрування точності приладів;
- встановлювати обмеження навантаження/переміщення.

Початок роботи автоматизованої випробувальної установки розпочинають з команди Operate/Go online (Go offline), для комутації програмної та апаратної частин випробувальної установки. Виконання цієї забезпечує припинення обміну даними між програмою та контролером.

За умови використання MTL32 кількома користувачами, профіль користувача вибирають в меню User. Проте, зміни у налаштуваннях програми виконували виключно під профілем адміністратора. Функціональність роботи та розподіл меню налаштувань на кілька панелей.



Рис. 4.2 Загальний вигляд панелі System

Панель System використовували для налаштування параметрів взаємодії програми та контролера.



Рис. 4.3 Загальний вигляд панелі Actuator

Для зміни параметрів давачів використали меню налаштувань панелі Actuator. При цьому важливим параметром є опція частоти опитування цього давача (Log Hz).





Рис. 4.4 Загальний вигляд Панелі Servo

Є можливість попереднього налаштування інтегральних та диференціальних параметрів за умови зміни давача.



Рис. 4.4. Загальний вигляд Панелі Calibration


При підключенні давача (за описаного експерименту – екстензометра) проводять його калібрування. Після підключення слід обрати низку апаратних коефіцієнтів:

- h/offs, - зміщення діапазону вимірювань;
- Gain1 - коефіцієнт підсилення давача;
- Gain2 - коефіцієнт підсилення давача;
- Range – діапазон вимірювань;

Коефіцієнти програмні:

- s/w gain – програмний коефіцієнт підсилення сигналу;
- s/w off - зміщення точки початку відліку.

Калібрування проводили за послідовності:

- автоматичне калібрування натисканням кнопки .
- підбір коефіцієнтів послідовно: Gain2, Gain1 і h/offs;
- встановлення діапазону вимірювань Range, виконують за умови, що його

поточне значення не відповідає бажаному, після авто калібрування.

За результатами виявлення похибки вимірювань, корекцію рекомендують за проводити програмними коефіцієнтами підсилення s/w gain та s/w off



Рис. 4.5. Загальний вигляд панелі Limits

Є можливість встановлення допустимих меж навантаження. Ця опція є важливою для безпечної роботи установки. Існують дії, які виконуються за досягнення верхньої та нижньої меж навантаження. Зокрема Stop (припинення підвантажування), Hold (утримання навантаження), Trip (зниження навантаження). Помітка Arm Limits активує ці обмеження.



Рис. 4.6. Загальний вигляд панелі Console

Ця панель забезпечує встановлення параметрів експерименту. Зокрема можна задати вид навантаження (синусоподібне, статичне, імпульсне); канал випробувань (навантаження, переміщення, екстензометр). Поле Mean визначає значення яке треба досягнути. Amplitude – амплітуду. Показник Hz вказує час набуття заданого значення Mean. В полі Cycles вказано кількість циклів виконання. Після введення всіх заданих параметрів, встановлення обмежень навантаження, калібрування, розпочинають початок випробувань. Для цього слід увімкнути режим високого тиску **On** → **Hi** і натиснути **Start**. Для вимкнення випробувань слід натиснути **Stop** вийти з режиму високого тиску



## 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 5.1. Вибір досліджуваних матеріалів

Для методу STT використовуємо електродний дріт марки Superarc L-56. Високоякісний зварювальний дріт суцільного перерізу L-56, виготовлений з низько вуглецевої сталі з підвищеним вмістом таких легуючих елементів, як марганець і кремній.

Такий склад дроту має наступні переваги:

- Низька розбризкуваність;
- Висока міцність шва;
- Можливість зварювання неочищених коронованих поверхонь.

Масова частка елементів наплавленого металу наведена в таблиці 2.2, а механічні властивості в таблиці 2.3

Таблиця 5.1. – Масова частка елементів (%) за AWS ER70S-6

C	Si	Mn	S	P	Cu
0.6-0.15	0,8-1.15	1,4 - 1,85	<0.035	<0.025	< 0.5

У якості захисного газу для методу STT приймаємо вуглекислий газ. Вуглекислий газ, або двоокис вуглецю, оксид С (IV), вищий оксид вуглецю, може перебувати в газоподібному, зрідженому і твердому (у вигляді сухого льоду) станах.

Щільність двоокису вуглецю залежить від тиску, температури і агрегатного стану, в якому вона знаходиться. Вуглекислий газ - досить поширений в природі безбарвний газ, має слабкий кислуватий запах і смак, добре розчиняється у воді і, утворюючи вугільну кислоту  $H_2CO_3$ , надає їй кислий смак. У повітрі міститься 0,03%  $CO_2$ .

Оскільки для отримання швів високої якості необхідний вуглекислий газ високої чистоти, для зварювання використовують двоокис вуглецю вищого і першого сортів. Згідно ГОСТ 8050-85 двоокис вуглецю не повинен містити

сірководень, кислоти, органічні сполуки (спирти, ефіри, альдегіди і органічні кислоти), аміак, етаноламіни і ароматичні вуглеводні. Двоокис вуглецю нетоксичний, однак при концентраціях більше 5% (92 г / м<sup>3</sup>) він шкідливий вплив для здоров'я людини, тому, що важчий за повітря в 1,5 рази і може накопичуватися в слабо провітрюваних приміщеннях, біля підлоги в приямках. За цього знижується об'ємна частка кисню в повітрі, що може викликати явища кисневої недостатності і задухи. Гранично допустима концентрація двоокису вуглецю в повітрі робочої зони 9,2 г / м<sup>3</sup> (0,5%).

Таблиця 5.2. – Механічні властивості металу шва

	Значення
Границя міцності, МПа	560
Відносне видовження, % не менше	28
Границя текучості, МПа	440
Ударна в'язкість, Дж/ см <sup>2</sup> (KCV) (-20)	71

Порошковий дріт - зварювальний матеріал, що являє собою сталеву оболонку, заповнену порошкоподібним наповнювачем. До складу наповнювача порошкового дроту входять наступні компоненти:

- газоутворюючі, що забезпечують захист розплавлених крапель і зварювальної ванни від азоту і кисню повітря (мармур, целюлоза і карбонати Са, Na, Mg);

- шлакоформуючі - сполуки, що утворюють жужільний захист (рутиловий концентрат, флюоритовий концентрат, алюмосилікати),

- розкислювачі - беруть участь в металургійних процесах, що протікають в зварювальній ванні, забезпечуючи металургійну якість зварного шва (феромарганець, феротитан);

- металеві складові - підвищують продуктивність наплавлення (металевий порошок, сполуки заліза).

Конструкція порошкового дроту визначає деякі особливості його

розплавлення дугою. Сердечник дроту на 50-70% складається з неметалічних матеріалів і тому його електроопір великий - в сотні разів більший, ніж опір металевій оболонки. Тому практично весь зварювальний струм проходить через металеву оболонку, розплавляючи її. Плавлення ж сердечника, розташованого усередині металевій оболонки, відбувається в основному за рахунок тепловипромінювання дуги і теплопередачі від металу оболонки, що розплавлюється. Зважаючи на це сердечник може виступати з оболонки, торкатися ванни рідкого металу або переходити в неї частково в нерозплавленому стані. Це збільшує засмічення металу шва неметалевими включеннями.

У нафтогазовій промисловості як правило використовуються спеціальні самозахисні порошкові дроти виробництва фірми "Лінкольн Електрик" (США). Марку самозахисного дроту вибирають в залежності від міцності матеріалу шва. Для нашого випадку використовується порошковий дріт марки NR-207 діаметром 1,7 мм;

Масова частка елементів наплавленого металу наведена в таблиці 2.4, а механічні властивості в таблиці 2.5

Таблиця 5.3. Хімічний склад наплавленого металу

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>
0,08-0,009	0,81-0,87	1,42 - 1,65	0,006 – 0,01	0,004 -0,01

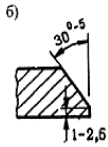
Таблиця 5.4. Механічні властивості металу шва

	<b>Значення</b>
Границя міцності, МПа	572
Відносне видовження, % не менше	25
Границя текучості, МПа	462
Ударна в'язкість, Дж/ см <sup>2</sup> (KCV) (-20)	61

В залежності від типу з'єднання послідовність розрахунку режиму

зварювання різна. Для даного випадку, вибираємо тип з'єднання С17 з розробленням кромки. Геометрія шва і розроблення кромки вибирається згідно ГОСТ 16037-80. Конструктивні елементи і розміри зварного з'єднання наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 5.5. Конструктивні елементи і розміри зварного з'єднання ГОСТ 16037-80.

Умовне познач. зварн. з'єднання	Конструктивні елементи і розміри		$S=S_1$ мм	Розміри, мм					
	підготовлених кромки зварюваних деталей	зварного шва		$b$		$e$		$g$	
				Номінал.	Гран. відх	Номінал.	Гран. відх	Номінал.	Гран. відх
C17			6	1,0	+0,5	11	+2	1,5	+1,5-1,0

Основними параметрами режиму автоматичного і механізованого зварювання, що впливають на розміри і форму шва, є:

- 1) Діаметр електродного (зварювальної) дроту,  $d_{ел}$ , мм.
- 2) Сила зварювального струму,  $I$ , А.
- 3) Напруга на дузі,  $U$ , В.
- 4) Швидкість подачі електродного дроту,  $V_{под}$ , м / год.
- 5) Швидкість зварювання,  $V_{зв}$ , м / год.[11]

Для визначення числа проходів знайдемо загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу за формулою:

$$F_n = 0,5h^2 tga + bS + 0,75eg = 63 \text{ мм}^2 \quad (5.1)$$

Де:  $S, b, e, g, a$  – розміри конструктивних елементів зварного з'єднання.

Загальну площу наплавленого і проплавленого металу знайдемо за формулою:

$$F = 0,75 e (S + g) = 102 \text{ мм}^2 \quad (5.2)$$

Знаходимо площу поперечного перерізу проплавленого металу:

$$F_{np} = F - F_n = 39 \text{ мм}^2 \quad (5.3)$$

Згідно рекомендацій [ ] призначаємо два проходи:

Перший прохід (корінь шва) -  $20 \text{ мм}^2$ ;

Другий корінь (заповнюючий) -  $43 \text{ мм}^2$ ;

Приймаємо діаметр електродного дроту 1,2, тоді сила струму буде становити 136 А.

$$I_{зг} = \frac{\pi \cdot d_{ел}^2}{4} \cdot j = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 120 = 136 \text{ А} \quad (5.4)$$

Для першого проходу приймаємо силу струму рівною – 140 А. Для другого проходу приймаємо силу струму рівною – 160 А.

Для даного діаметру дроту і відповідної сили струму визначимо напругу дуги:

$$U = 20 + I_{зг} 0,05 / d_{ел} = 26 \text{ В} \quad (5.5)$$

Визначимо коефіцієнт форми провару:

$$\psi = k (19 - 0,01 I_{зг}) d_{ел} U / I_{зг} = 3,095 \quad (5.6)$$

Коефіцієнт наплавлення визначаємо за формулою:

$$a_n = a_p (l - \psi_n) \quad (5.7)$$

Де  $\psi_n$  визначається за формулою:

$$\psi_n = (-4,72 + 17,6 j 10^{-2}) - 4,48 j^2 10^{-4} = 9,5 \quad (5.8)$$

Значення  $a_p$  розраховується за формулою:

$$a_p = 3,0 + 0,08 I_{зг} / d_{ел} = 12,6 \text{ г/Агод} \quad (5.9)$$

Згідно рекомендацій, виліт дроту –  $l$  складає 15 мм, тоді коефіцієнт наплавлення буде мати значення:

$$a_n = a_p (l - \psi_n) = 11,4 \text{ г/Агод}$$

Визначаємо швидкість зварювання для першого проходу:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{F_n \cdot \gamma \cdot 100} = \frac{11,4 \cdot 140}{0,2 \cdot 7,8 \cdot 100} = 10,23 \text{ м/год} \quad (5.10)$$

Для другого проходу швидкість зварювання складає:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{F_n \cdot \gamma \cdot 100} = \frac{11,4 \cdot 160}{0,43 \cdot 7,8 \cdot 100} = 5,4 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі електродного дроту, м/год, для першого проходу:

$$V_{под} = \frac{4\alpha_{нод} I_{зв}}{\pi \cdot \gamma \cdot d_{ел}^2} = \frac{4 \cdot 12,6 \cdot 140}{3,14 \cdot 1,44 \cdot 7,8} = 90 \text{ м/год} \quad (5.11)$$

Швидкість подачі електродного дроту, м/год, для першого проходу:

$$V_{под} = \frac{4\alpha_{нод} I_{зв}}{\pi \cdot \gamma \cdot d_{ел}^2} = \frac{4 \cdot 12,6 \cdot 160}{3,14 \cdot 1,44 \cdot 7,8} = 103 \text{ м/год}$$

Особливістю нерегулярного навантаження є те, що амплітуда кожного наступного циклу навантаження може відрізнитись від амплітуди, попереднього циклу навантаження, що вимагає врахування перехідних процесів (історії навантаження) в околі вістря тріщини при прогнозуванні РВТ. Описана вище модель РВТ після одноразового перевантажування створена з метою її подальшого використання для прогнозування РВТ при нерегулярному навантаженні розтягом.

Для того щоб охарактеризувати використовуваний в роботі узагальнений підхід для прогнозування швидкості РВТ за нерегулярного навантаження розтягом розглянемо такі дві схеми навантаження (рис. 5.1, рис. 5.2):



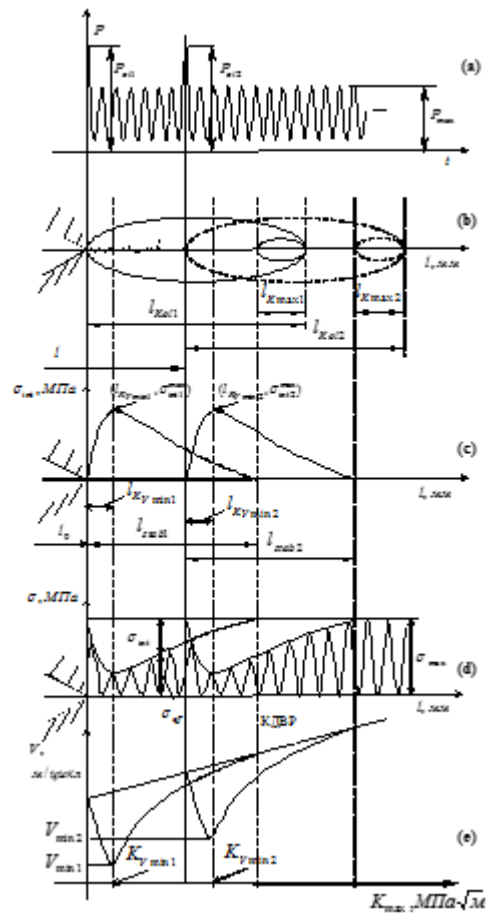


Рис. 5.1. Модель РВТ за повторюваних одноразових перевантажень

- періодично повторювані перевантажування
- ступінчасте зростання або зменшення максимального зусилля навантаження (рис. 5.2).

Для прогнозування РВТ при навантаженні схемою поданою на рис. 5.1 в роботі використовується таке припущення: перевантажуванням вважається будь-який цикл, якщо довжина створеної ним пластичної зони  $l_{Kol2}$  більша довжини пластичної зони попереднього перевантажування  $l_{Kol1}$  (рис. 5.1 (а,)). Згідно цього припущення, нове перевантажування завершує вплив попереднього на РВТ (стирає передісторію) і створює нові умови РВТ.

Згідно рис. 5.1, цикл з максимальним значенням зусилля навантаження  $P_{ol2}$  створює нову пластичну зону довжиною  $l_{Kol2} > l_{Kol1}$  і встановлюються нові значення параметрів і коефіцієнтів для визначення швидкості РВТ за нових умов перевантажування.

Для прогнозування РВТ при зміні амплітуди регулярного навантаження після одноразового перевантажування, в роботі запропоновано підхід, суть якого схематично представлено на рис. 5.2.

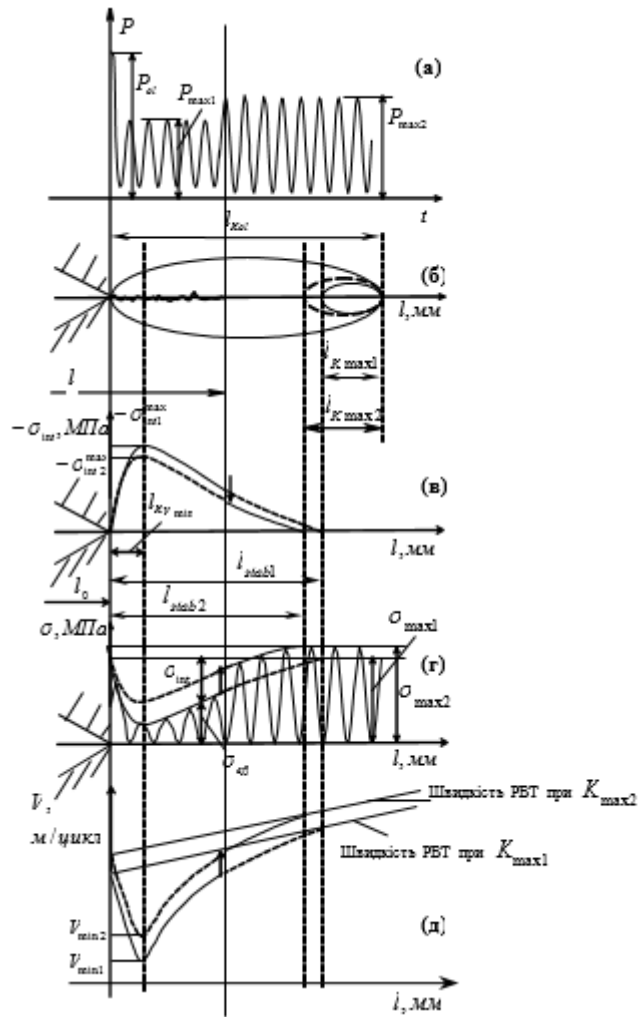


Рис. 5.2. Модель РВТ за зміни амплітуди регулярного навантаження

Нехай після одноразового перевантажування  $P_{ol}$ , в межах пластичної зони  $l_{Kol}$  відбувається ступінчасте збільшення амплітуди циклу регулярного навантаження  $P_{max1} \rightarrow P_{max2}$  (рис.4.7 (а)). При цьому збільшуються розміри довжини пластичної необхідної для усунення ефекту затримки РВТ до значення  $l_{Kmax2}$ , що зумовлює зменшення довжини зони стабілізації швидкості РВТ від  $l_{stab1}$  до  $l_{stab2}$  (рис. 5.1 (б,в)).

Згідно моделі РВТ після одноразового перевантажування, обчислюються параметри і коефіцієнти, що визначають розподіл залишкових напружень відповідно до умов одноразового перевантажування  $Q_{ol} = \frac{P_{ol}}{P_{max2}}$  (рис. 5.1 (в)). В

точці зростання амплітуди навантаження, на відстані  $(l-l_0)$  від точки перевантажування, здійснюється перехід до менших значень залишкових напружень, що відповідають новим умовам навантаження (рис. 5.1 (в)). Відповідно відбувається зростання ефективного напруження циклу навантаження  $\sigma_{eff}$ , в межах зони стабілізації РВТ (рис. 5.1(г)). Із збільшенням значення  $\sigma_{eff}$  зростає ефективний КІН  $K_{max}^{eff}$  циклу навантаження (рис. 5.1). Згідно моделі РВТ після одноразового перевантажування, швидкість РВТ після перевантажування контролюється  $K_{max}^{eff}$ , тому швидкість РВТ зростає (рис. 5.1).

Аналогічний підхід використовується за умов зменшення максимального зусилля циклу навантаження після одноразового перевантажування. Відмінність полягає в тому, що із зменшенням амплітуди навантаження, зростає значення залишкових напружень  $\sigma_{int}$ , зменшується ефективно  $\sigma_{eff}$ , що в свою чергу зумовлює зменшення КІН  $K_{max}^{eff}$  і швидкості РВТ  $V$ . Розрахунки ведуться згідно моделі РВТ після одноразового перевантажування.

Відомо, що ступінчасте зростання максимального зусилля навантаження призводить до короткотривалого зростання швидкості РВТ, котре завершується на протязі кількох десятків циклів, до утворення нової розширеної пластичної зони. Тривалість стабілізації швидкості тріщини за таких умов є незначною як в кількості циклів так і в прирості тріщини за цей період. Тому перехідними процесами за зростання амплітуди навантаження в роботі нехтували і швидкість РВТ визначали відповідно до нового значення  $K_{max}$ .

При переході від навантаження більшої амплітуди до навантаження меншої амплітуди відбувається затримка РВТ, механізм якої аналогічний механізму затримки при одноразовому перевантаженні. Разом з тим, ефект затримки за таких умов буде більш вираженим. В літературі відомі моделі, які дають змогу визначати кількість циклів затримки РВТ  $N_d$  враховуючи кількість циклів перевантажування [19]. Такі моделі в основному використовують для прогнозування РВТ в елементах конструкцій які працюють за умов ступінчастої

зміни амплітуди навантаження, а їх використання за поциклового підрахунку приросту тріщини є неможливим.

Для спрощення, в роботі припускали, що швидкість РВТ після ступінчастого зменшення амплітуди навантаження визначається згідно моделі РВТ після одноразового перевантажування, незалежно від кількості циклів перевантажування. Вважали, що похибка прогнозування РВТ за такого спрощення є незначною, оскільки в експлуатаційних послідовностях навантажень більшості машин і механізмів ступінчастого зменшення амплітуди навантаження немає. Таким чином, використовуючи запропоновані підходи, котрі базуються на моделі РВТ після одноразового перевантажування, а також вище згадані припущення, можна прогнозувати РВТ при нерегулярному навантаженні розтягом. Для перевірки справедливості використання розробленої моделі РВТ після одноразових перевантажувань розтягом та поданих принципів, підходів і припущень в роботі проведено експериментальні дослідження та розрахунки РВТ за умов нерегулярного циклічного навантаження розтягом. Результати досліджень подані на рис. 5.3. Керуючись описаним стандартизованим методом розробки випадкових експлуатаційних навантажень було створено 3 різних послідовності зусиль з 74369 циклів кожна. Послідовності відрізняються між собою випадковим чергуванням навантажень за складністю та випадковим чергуванням зусиль. Випробовували зразки з різною довжиною тріщин у кожному з 3-х випадків (рис. 5.3).

Для аналітичних розрахунків, на основі представленої в роботі моделі РВТ, підходів та припущень створено програму (на алгоритмічній мові "Pascal") для поциклового підсумовування приросту тріщини. Подані на рис. 5.3 експериментальні результати задовільно узгоджуються з результатами аналітичного розрахунку РВТ.

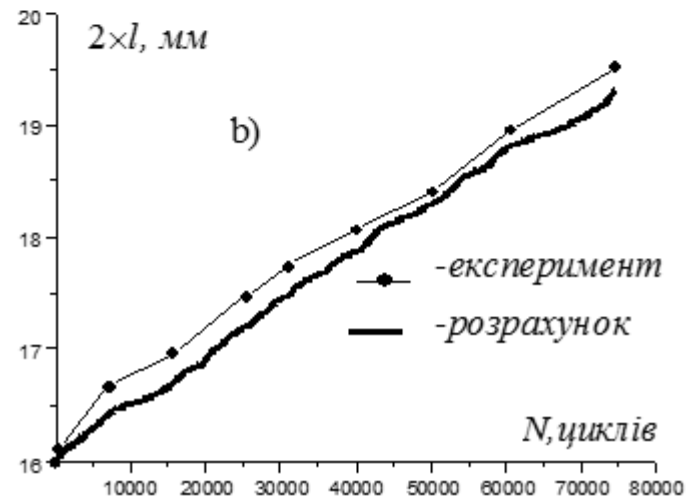
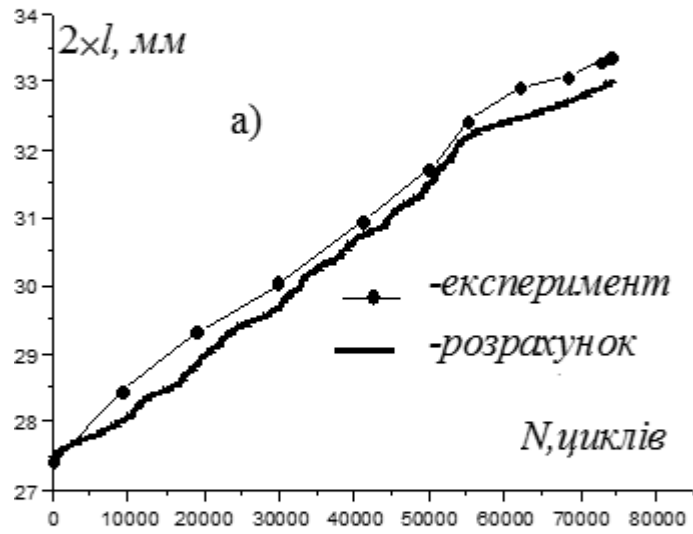
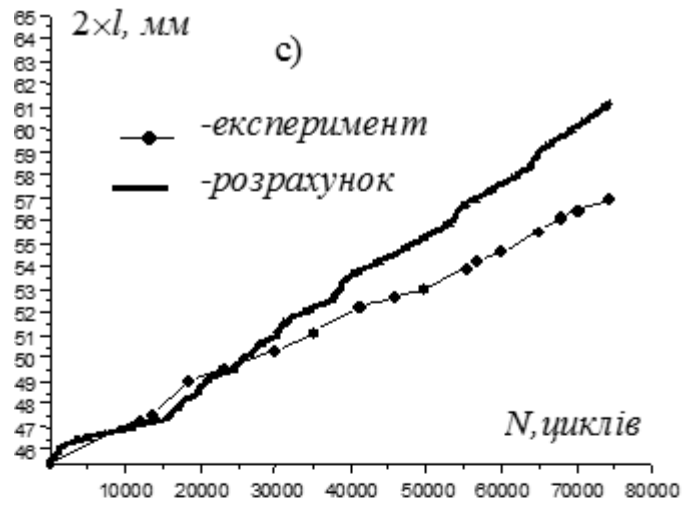


Рис. 5.3. Модельні та експериментальні результати оцінювання РВТ

## **6. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **6.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища**

Створення безпечних умов праці найважливіша задача будь-якого виробництва. За правильну організацію і стан охорони праці несе відповідальність керівництво підприємства. Безпека зварювальних робіт цілком залежить від рівня професійної майстерності, знань і уміння виконання їх зварником.

До виконання електрозварювальних робіт допускаються особи не молодше 18-літнього віку, які пройшли медичний огляд, навчені за програмою теоретичної і практичної підготовки, склали іспит кваліфікаційній комісії і мають посвідчення установленого зразка.

Всі методи зварювання вимагають дотримання певного комплексу правил охорони праці. На зварювальника під час зварювання плавленням в тій чи іншій мірі існує можливість небезпечних впливів в зв'язку з наступними факторами:

- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин електричного кола;
- ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри; опіки від крапель металу і шлаку при зварюванні;
- отруєння шкідливими газами, що виділяються при зварюванні і при забрудненні приміщень пилом і випарами різних речовин;
- вибухи через неправильне поводження з балонами стисненого газу або через виробництво зварювання в ємностях з-під горючих речовин, або виконання зварювання поблизу легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;
- пожежі від розплавленого металу і шлаку в процесі зварювання; травми різного роду механічного характеру при підготовці важких виробів до зварювання і в процесі зварювання.

Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві

дуги протягом не більше 0,5 с. З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися наступних заходів:

- надійна ізоляція всіх, проводів, пов'язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги;
- надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварним виробом або руками зварника;
- робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях.

При роботі в тісних відсіках і замкнутих просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6-12 В. Для запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (брюки, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини. Куртки при роботі не слід вправляти у штани, а взуття повинне мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не потрапляли всередину одягу, так як в цьому випадку можливі важкі опіки.

Небезпека виникнення пожеж від розплавленого металу і шлаку існує в тих випадках, коли зварювання виконують по металу, що закриває дерево або горючі матеріали, на дерев'яних лісах, поблизу легкозаймистих матеріалів тощо.

## **6.2 Санітарно – гігієнічні характеристики зварювального виробництва**

Потужне ультразвукове або світлове випромінювання зварювальної дуги при впливі на очі працюючого може призвести до запального захворювання очного яблука (електроофтальмія), при тривалому впливі - до поразки клітковини очей (кон'юнктивіт). Інфрачервоні короткохвильові промені можуть викликати хронічне захворювання - помутніння кришталика ока (катаракта). Шкідливі впливу променів зварювальної дуги на органи зору впливають в радіусі до 10 метрів.

Шкіру захищають звичайним робочим одягом, обличчя і частину шиї - щитком. Очі захищаються спеціальними темними стеклами - світлофільтрами,

які вставляють в щиток або маску. Ці стекла зовсім не пропускають ультрафіолетові промені, а інфрачервоні пропускають в межах від 0,1 до 4%, що не робить шкідливого впливу на зір зварника.

При захворюванні очей від світлової радіації, необхідно негайно звернутися до лікаря, а при неможливості отримання швидкої медичної допомоги слід робити примочки очей слабким розчином питної соди.

Крім опіків променями електричної дуги, зварнику можуть бути заподіяні опіки бризками розплавленого металу. Щоб уникнути опіків, необхідно надягати робочий одяг з щільної брезентової матерії. Одяг не повинна мати складок. Штани треба носити тільки на випуск, щоб вони закривали черевики. Щоб запобігти пропалювання спецодягу бризками розплавленого металу, тканина просочується спеціальними складами, що підвищують її вогнестійкість.

При виконанні зварювальних робіт в результаті вигорання обмазки електрода і елементів легування підвищується загазованість робочого місця для запобігання цьому необхідно встановлювати пристрої витяжної вентиляції в зоні дихання зварника. Викидати повітря потрібно за межі робочих зон. Для видалення газів і пилу застосовується як місцева вентиляція робочого місця, так і припливно-витяжна вентиляція всього приміщення. Припливне повітря повинне надходити розсіяно в робочу зону приміщень, в основному на не зварювальні ділянки, а також там, де витяжна вентиляція здійснюється за допомогою місцевих відсмоктувачів. швидкість руху повітря, на робочих місцях повинна бути не більше 0,3 м / с.

Для знежирення металу і зварювальних матеріалів від олійних забруднень не слід застосовувати трихлоретилен, дихлоретан та інші хлоровані вуглеводні, так як при з'єднанні їх з азотом, присутнім в атмосфері при дугового зварювання, може утворюватися задушливий газ (фосген).

### **6.3 Техніка безпеки при роботі з машинами і механізмами**



Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкцій машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручності експлуатації. Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;
- використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;
- застосуванням в конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням в конструкції відповідних матеріалів.

Дотримання цих вимог в повному обсязі можливе лише на стадії проектування. Тому у всіх видах проектної документації передбачаються вимоги безпеки. Вони містяться в спеціальному розділі технічного завдання, технічних умов та стандартів на обладнання, що випускається.

Застосування в конструкціях машин засобів механізації та автоматизації дозволяє суттєво знизити травматизм.

Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються ГОСТ 12.3.002-75.

Вони передбачають:

- усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, які мають небезпечну;
- заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих чинників, процесами та операціями, при виконанні котрих ці фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;
- комплексну механізацію та автоматизацію виробництва;
- застосування дистанційного керування технологічними процесами та операціями за наявності небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- герметизацію обладнання;

- застосування засобів колективного захисту працівників;
- своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях;
- запровадження систем керування технологічними процесами, які забезпечують захист працівників та аварійне вимкнення виробничого обладнання;
- своєчасне видалення та знешкодження відходів виробництва.

Значною мірою безпека виробничих процесів залежить від організації та раціональності планування цехів, дільниць, від рівня облаштованості робочих місць, виконання вимог безпеки до виробничих приміщень, зберігання, транспортування, складання вихідних матеріалів, заготовок та готової продукції, а також від видалення відходів, їхньої утилізації, від дотримання вимог безпеки, що ставляться до виробничого персоналу.

Розташування виробничого обладнання, вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва у виробничих приміщеннях та на робочих місцях не повинно бути небезпечним для персоналу. Розташування виробничого обладнання та комунікацій, котрі є джерелами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, відстань між одиницями обладнання, а також між обладнанням і стінами виробничих будівель, споруд, повинні відповідати діючим нормам технологічного проектування, будівельним нормам і правилам.

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним та психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи. Облаштоване згідно з вимогами стандартів робоче місце забезпечує зручне положення людини. Повинне забезпечуватись виконання трудових операцій в зонах моторного поля (оптимальної досяжності, легкої досяжності та досяжності) в залежності від необхідної точності і частоти дій.

Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операцій, виключати

або допускати лише в деяких випадках роботу в незручних позиціях, котрі зумовлюють підвищену втомлюваність.

Засоби індивідуального захисту застосовують тоді, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією та розміщенням устаткування, організацією виробничих процесів, архітектурно-планувальними рішеннями та засобами колективного захисту.

Відповідно до Закону України "Про охорону праці на роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці, в особливих температурних умовах, в забрудненому середовищі робітникам та службовцям безплатно видаються спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту. Порядок видачі зберігання та використання визначається "Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншим\* засобами індивідуального захисту" (наказ Держнаглядохоронпраці № 170 від 29 10. 96 р.).

Засоби з безпеки поділяються на засоби захисту органів дихання, спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук, голови, обличчя, очей, органів слуху, шкіри, засоби захисту від падіння з висоти та ін.

Захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів та респіраторів Респіратор - полегшений засіб захисту органів дихання від шкідливих газів, парів, аерозолів.

До спецодягу відносяться: куртки, штани, комбінезони, халати, плащі тощо. Відповідно до ГОСТ 12.4.103-80 спеціальний одяг залежно від захисних властивостей поділяється на групи (підгрупи), які мають наступні позначення: М - для захисту від механічних пошкоджень; З - від загальних виробничих забруднень; Т - від підвищеної чи пониженої температури; Р - від радіоактивних речовин; Й - від рентгенівського випромінювання; З - від електричних полів; П - від нетоксичних речовин (пилу); Я - від токсичних речовин; В - від води; К - від кислот; Щ - від лугів; О - від органічних розчинників; Н - від нафти, нафтопродуктів, мастил та жирів; Б - від шкідливих біологічних чинників.

Засоби захисту голови дозволяють недопустити травмування голови при виконанні монтажних, будівельних, навантажувально-розвантажувальних робіт. Засоби захисту рук - це різні види рукавиць, рукавичок, напальчників, дерматологічних засобів (мазі, пасти, креми). Рукавиці та рукавички виготовляють із бавовни, льону, шкіри, шкірзамінника, гуми, азбесту, полімерів та ін. Засоби захисту рук за захисними властивостями класифікуються відповідно до єдиної класифікації (ГОСТ 1.4.103-80) аналогічно до спецодягу та спецвзуття.

Для захисту очей від твердих частинок, бризок кислот, лугів та інших хімічних речовин, а також випромінювань застосовують такі засоби індивідуального захисту, як окуляри. Тип окулярів добирається за ГОСТ 12.4.013-85 залежно від виду роботи.

До засобів захисту обличчя відносяться ручні, наголовні та універсальні щитки. Найбільш часто на виробництві використовуються: щиток електрозварювальника універсальний ЩЗУ-1, щиток захисний ЩЗ, захисна маска С-40, захисна сітчата маска С-39.

## 7. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечуючи пожежну безпеку, необхідно керуватися ТУ, будівельними нормами, правилами монтажних робіт та іншими нормативними документами, що визначають вимоги пожежної безпеки (ДБН В.1.1.7-2002).

Монтажно-будівельні роботи проводяться безпосередньо на місці зварювання. Проведення піротехнічних робіт допускається лише за умови дотримання всіх вимог протипожежного захисту, зазначених у дозволі (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. – Основні пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів

Назва речовини	Температура, °С			Границі запалення концентраційний об'єм, %		Методи гігієни
	Спалаху	Легко займання	Займа ння	Верхня межа	Нижня межа	
Бензин	-34	300	-4	5,16	0,79	Піна, вуглекислота
Ацетон	-18	5	5	12,8	2,5	піна, вуглекислота
Дизпаливо зимове літнє	48	240	119	6,8	1,6	піна, вуглекислота
	71	310	100	7,2	2,3	
Пропан	-	406	-	9,0	2,0	Вугле- кислота
Бутан	-	390	-	9,0	2,0	Вугле- кислота
Ацитилен	295	335	305	81	2,5	Вуглекислота

При виконанні зварювальних робіт слід заземлити обладнання і використовувати кабель такого ж перерізу, що і основний джерело живлення. У місцях встановлення зварювального обладнання необхідно дотримуватися наступних заходів пожежної безпеки:

- повністю виключає можливість проникнення рідких і газоподібних нафтопродуктів;

- прибрати сміття та горючі матеріали на території;

Підприємствам дозволяється проводити зварювання на відстані не більше 20 м від зони резервуарів-сховищ або резервуарів, де окремо зберігаються нафтопродукти, крім того, при наливі (або перекачуванні) нафтопродуктів феєрверки дозволяється проводити на відстані не менше 40 м від цих резервуарів. Ліквідувати пожежі за допомогою системи пожежогасіння можна незалежно від того, чи є зона горіння, огорожена зверху. Піна здатна обтікати заглиблену конструкцію і поширюватися по всій поверхні горючої рідини.

Таблиця 7.2.- Промислові пристрої за класифікацією вибухонебезпечності – і пожежонебезпеки [22,23]

Назва дільниці	Категорія виробництв приміщень за вибухотапожежо безпекою	Клас приміщень за пожежо-небезекою	Характеристи приміщень за електро безпекою	Категорія вибухо небезпечн ої суміші	Група вибухонеб е зпечної суміші	Умовне позначе ння електро обладна ння
Дільниця розванта жувальна	В	В-Ia	2 клас (з підвищеною безпекою)	IIa	T <sub>3</sub>	-
Відновлю вальна дільниц	В	В-IIa	2 клас (з підвищеною небезпекою)	IIa	T <sub>3</sub>	-

Закінчення таблиці 7.2.

Назва дільниці	Категорія виробництв приміщень за вибухота пожежо безпекою	Клас приміщенн за пожежо-небезекою	Параметри приміщень за електро безпекою	Категорія вибухо небезпечн ої суміші	Група вибухонеб е зпечної суміші	Умовне позначення електро обладнання
Дільниця монтажна	В	В-Па	2 клас (з підвищеною небезпекою)	Па	T4	ПСГ-500

До комплексу заходів з пожежного захисту входять питання застосування первинних засобів пожежегасіння. В таблиці 7.3 приведені ці засоби.

Усі протипожежні заходи передбачають використання первинних засобів пожежегасіння. У таблиці 7.3 описано ці засоби.

Таблиця 7.3. – Засоби пожежегасіння [22,23]

Споруди	Категорія за СНиП	Площа, м <sup>2</sup>	Засоби первинного пожежегасіння		
			вуглекислотний вогнегасник	Скриня з піском 0,5 м <sup>3</sup>	Піноутворювач
Майстерні	Д	52	1	1 шт.	-
Дільниця монтажна	А	340	ОУ-2 1 шт. або ОУ-5 1шт, ОУ- 25 1шт.	2 шт.	Система піногенераторів
Дільниця відновлення	Б	1720	ОУ-8 5 шт.	2шт.	-

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра розв'язано важливу науково-технічну задачу: на апробовано автоматизовані методи оцінювання тріщиностійкості з метою їх використання для дослідження зварних швів. Зокрема, отримано такі результати:

- доопрацьовано функціональну схему автоматизованого лабораторного дослідно-діагностичного комплексу, набір інформативних параметрів (швидкість зростання тріщини, максимальна величина деформації) у вершини, рівень відкриття/закриття тріщини), а також методика їх розрахунку на основі даних, одержуваних методом кореляції цифрових зображень, дозволяють кількісно характеризувати процес поширення втомної тріщини в металевих матеріалах в термінах механіки руйнування.

- розроблено та апробовано автоматизований оптико-цифровий метод контролю пошкодженості металевих матеріалів, заснований на використанні методу кореляції цифрових зображень, включаючи апаратну реалізацію, алгоритми та методики обробки сигналів та інтерпретації даних.

- запропонована система дозволяє отримувати більш інформативні результати, оскільки вона є більш чутливою до накопичення пошкоджень, тоді як аналіз полів деформацій, розрахованих оптичним методом, дозволяє виявити локалізацію деформацій у зразку, пов'язану з появою тріщини, проте малочутливий до зміни стану матеріалу на більш ранніх стадіях.

- розроблено автоматизований метод оцінювання втомного руйнування зразків сталі зі звареним швом дозволяє виявляти момент зародження тріщини щодо зміни розподілів деформації, а також отримувати кількісну оцінку процесу зародження та поширення втомної тріщини.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акулов А. И. Технология и оборудование сварки плавлением: учебник. / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с
2. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б.Е. Патон. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с
3. Панчук М. В. Сучасні технології зварювання магістральних нафтогазопроводів / М. В. Панчук, Л. С. Шлапак, О. М. Матвієнків, О. Л. Козак // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2011. - № 3. - С. 24-29.
4. Игнатович С.Р. Особенности пластического деформирования поверхностного слоя сплава Д16АТ при циклическом нагружении / С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, С.С. Юцкевич, В.И. Закиев // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 2014.– № 39. – С. 45 – 53.
5. Панчук М.В. Зварювання плавленням: конспект лекцій / М. В. Панчук. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. - 67 с.
6. Сварка в смеси активных газов / А.Е. Аснис, Л.М. Гутман, В.Р. Покладий, Я.Н. Юзквив. К.: Наукова думка, 1982. 214 с
7. Гуднев Н.З. Изыскание путей повышения производительности полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов корпусов из специальных сталей. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06. Киев, 1985. 16 с.
8. Апасов А.М. Анализ разрушения сварных соединений в процессе сварки // Дефектоскопия. 1996. № 10. С. 24-30
9. Сидоров В.П. Влияние режимов сварки на проплавление при механизированной наплавке / В.П. Сидоров, А.И. Ковтун, С.А. Хурин // Сварочное производство. –2011. – №4. –С. 3 – 6.
10. Степанов, В.В. Влияние параметров режима сварки на формирование шва при автоматической сварке в узкую разделку/ В.В. Степанов, В.М.

Язовских// Сварочное производство. –1980. – №3. – С.36-37.

- 11.Бурау Н.И., Тяпченко А.Н. О статистических характеристиках оценок относительного размера трещины по методу высших гармоник // Дефектоскопия. – 2000. - №5. – С.89-95.
12. Суздалев, И.В. Влияние параметров режима сварки на форму и размеры кратера сварочной ванны и толщину жидкой прослойки под дугой/ И.В. Суздалев, Б.М. Березовский, В.К. Прохоров // Сварочное производство.– 1988.–№8.–С. 35-36.
13. Лащенко, Г.И. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом / Г.И. Лащенко. – Киев: Екотехнология, 2006. – 384 с
14. Игнатович С.Р. Профилометр для контроля микро/нано топографии поверхности методом оптической интерферометрии / С.Р. Игнатович, В.Н. Шмаров, И.М. Закиев, В.И. Закиев // Нанотехнологии: Харьковская нанотехнологическая ассамблея. – Харьков, 2008. – Т. 1. – С. 202-205.
15. Закон України «Про охорону праці» [Текст]: станом на 2 червня 2011р / Верховна Рада України – Офіційне видання – К.: Парлам. Ви-во, 2011 р – 18 с – (Серія «Закон України).
16. Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности: ГОСТ 12.3.003-86 [чинний від 1992-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 50 с.
17. Административные и бытовые здания: СНиП 2.09.04-87 [чинний від 1989-01-01]. – М.: Стройиздат, 1988. – 58 с.
18. Квасницький В.В. Спеціальні способи зварювання: навч. Посібник/ В.В. Квасницький. – Миколаїв: УДМТУ, 2003
19. Пашинський В.В. Визначення показників пластичності та міцності інструментальних сплавів у мікрооб'ємах / В.В. Пашинський, М.Г. Субботіна, В.І. Закієв // Металознавство та обробка металів. – 2014 – № 3. – С. 51-56.
20. Пат. 39834 України. МПК G01B 5/30 Спосіб визначення напружень елементів конструкцій / В.Б. Фостик, П.О. Марущак, І.В. Коноваленко, П.В.

- Ясній, Ю.І. Пиндус, заявник та патентокористувач Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. - № 200812731; заяв. 30.10.2008; опубл. 10.03.09, Бюл. №5.
21. Пат. 33067 України. G 01 N 1/00. Спосіб розмічування поверхонь металевих плоских зразків / П.В. Ясній, Ю.І. Пиндус, П.О. Марущак, В.Б. Фостик, заявник та патентокористувач Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. - № 200801367; заяв. 04.02.2008; опубл. 10.06.08, Бюл. №11.
22. Патент України № 38957. Спосіб визначення розкриття вершини тріщини / П. В. Ясній, П. О. Марущак, Ю. І. Пиндус та ін. – Опубл. 26.01.2009; Бюл. № 1.
23. Взаимосвязь фрактальной размерности и мезомеханизмов пластического деформирования материала в вершине усталостной трещины / П. В. Ясний, П. О. Марущак, С. В. Панин, П. С. Любутин // Обработка материалов давлением. – 2010. – № 1(22). – С. 200–204.
24. Похмурський В.І. Особливості мікродеформації поверхневих шарів та механізми зношування  $\alpha$ -титану за водневого впливу / В.І. Похмурський, В.А. Винар, Х.Б. Василів, В.І. Закієв, Н.Б. Рацька // Проблеми трибології. – 2013. – № 2. – С. 21-26.
25. Zakiev V.I. Non-contact method of surface 3D profiling / V.I. Zakiev // Вісник національного авіаційного університету. – 2005. – № 4. – С. 109-111.
- 26.ISO 17635:2016: Non-destructive testing of welds | General rules for metallic materials
- 27.ISO 16810:2012: Non-destructive testing | Ultrasonic testing | General principles
- 28.ISO 16811:2012: Non-destructive testing | Ultrasonic testing | Sensitivity and range setting
- 29.ISO 17640:2018: Non-destructive testing of welds | Ultrasonic testing | Techniques, testing levels, and assessment
- 30.EN 12668-3:2013 Non-destructive testing | Characterization and verification of ultrasonic examination equipment – Part 3: Combined Equipment

- 31.ISO 2400:2012: Non-destructive testing | Ultrasonic testing | Specification for calibration block No. 1
- 32.ISO 7963:2006: Non-destructive testing | Ultrasonic testing | Specification for calibration block No. 2
- 33.ISO 5817:2014: Welding | Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections
- 34.ISO 23279:2017: Non-destructive testing of welds | Ultrasonic testing | Characterization of discontinuities in welds
- 35.Савицька Л. А., Городецька О. С., Колесник І. С., Добровольська Н. В. Методологія та організація наукових досліджень. Навчальний посібник, Вінниця, ВНТУ, 2023, 137 с., <https://jetiq.vntu.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=6740>
- 36.Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
- 37.Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник/ І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо.– Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022.–324с.
- 38.Я.І. Проць, В.Б. Савків,О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.
- 39.Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с.». <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843>.
- 40.Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.
- 41.Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в

- надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>.
42. Навчальний посібник «Техноекоелогія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424/>
43. Платформа .NET та мова програмування С# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с. /Рекомендовано до друку Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 10 від 20 жовтня 2020 року
44. Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І., Савків В.Б., Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 40 с.
45. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>