

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)

Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітній рівень)

*Автоматизоване вимірювання фрактальної розмірності поверхонь руйнування матеріалів, утворених за статичного та ударного деформування*  
(комплексна тема)

Виконавли: студенти 4 курсу, групи КА-41

Спеціальність 151

*“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”*

(шифр і назва спеціальності)

Стельмах Віталій  
Володимирович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зубко Володимир  
Степанович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Марущак П.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Курко А.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)





## **А н о т а ц і я**

Стельмах Віталій Володимирович, Зубко Володимир Степанович  
«Автоматизоване вимірювання фрактальної розмірності поверхонь руйнування матеріалів, утворених за статичного та ударного деформування» (комплексна тема).

В дипломній роботі використані такі терміни: промисловий робот, зварювання, вплив дефектів на міцність зварного шва.

Об'єктом дослідження є процес визначення поверхневих дефектів зварних швів за підходами фрактальної геометрії

Мета роботи – є розробка та тестування методу автоматизації робототехнічного зварювання та оцінювання дефектності з'єднання за підходом автоматизованого фрактодіагностування.

Технічні рішення проекту передбачають вирішення наступних завдань: автоматизація основних і допоміжних операцій робототехнічного зварювання; оптимізація робототехнічного зварювання; автоматизоване фрактодіагностування та комп'ютерного аналіз ФР зображень одержаних методами скануючої електронної мікроскопії;

Апробовано алгоритм обчислення ФР в автоматизованому режимі з досліджуваними і подальшим обчисленням параметрів поверхонь руйнування зварного шва виготовленого роботизованим способом. Практичне застосування розробленого підходу фрактодіагностування підтвердило ефективність за в'язко-крихких мікромеханізмах статичного да динамічного руйнування швів виконаних при роботизованому зварюванні.

Застосування розробленої системи автоматизованої діагностики забезпечує експрес-діагностику процесів окрихчення і індикатором підвищення ефективності роботизованого зварювання.

Stelmakh Vitalii, Zubko Volodymyr "Automated measurement of fractal dimension of fracture surfaces materials formed by static and shock deformation" (complex project).

The following terms are used in the diploma work: industrial robot, welding, influence of defects on weld strength.

The object of research is the process of determining the surface defects of welds by approaches of fractal geometry

The purpose of the work is to develop and test a method of automation of robotic welding and assessment of joint defects according to the approach of automated fractodiagnosis.

Technical solutions of the project include the solution of the following tasks: automation of basic and auxiliary operations of robotic welding; optimization of robotic welding; automated fractodiagnosis and computer analysis of FR images obtained by scanning electron microscopy;

The algorithm of calculation of FD in the automated mode with investigated and the subsequent calculation of parameters of surfaces of destruction of a weld made by the robotic way is tested. The practical application of the developed approach to fractodiagnosis has confirmed the effectiveness of viscous-brittle micromechanisms of static and dynamic destruction of seams made by robotic welding.

The use of the developed system of automated diagnostics provides rapid diagnostics of embrittlement processes and an indicator of improving the efficiency of robotic welding.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1. Характеристика конструкції зварного бака	13
1.2. Зварне з'єднання як фізичний об'єкт автоматизованого діагностування	15
1.3. Методи та програми для обчислення фрактальної розмірності зображень	17
<b>2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА</b>	
2.1. Схема роботизованого зварювання	21
2.2 Вибір способу зварювання	22
2.3. Вибір основного робототехнічного комплексу	26
2.4. Комплект зварювального обладнання	36
2.5. Вибір зварювальної оснастки	40
2.6. Планування зварювальної ділянки	45
<b>3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
3.1. Методи дефектоскопії зварних з'єднань	54
3.2. Фрактальна розмірність як параметр фрактодіагностування	56
3.3. Визначення фрактальної розмірності і площі ділянок вязкого руйнування	72
<b>4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	
4.1. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів	82
4.2. Пожежна безпека	88
4.3. Охорона навколишнього середовища	91
<b>ВИСНОВКИ</b>	96
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	98

## ВСТУП

Процес виробництва будь-якого виду продукції сьогодні важко уявити без використання промислових роботів. Їх універсальність, виробнича гнучкість і широкі технологічні можливості є незамінними у сучасному виробництві. Відомо, що постійно зростають вимоги до збільшення продуктивності, підвищення якості продукції, економії матеріалів та електроенергії, а також розроблення нових технологій та матеріалів, ведуть до створення та вдосконалення універсальних роботизованих комплексів та розширення їх застосування.

Якщо розглядати роботизацію як інструмент зниження вартості одиниці продукції, то найефективним є застосування роботів у серійному та дрібносерійному виробництві, рис. 1.1.

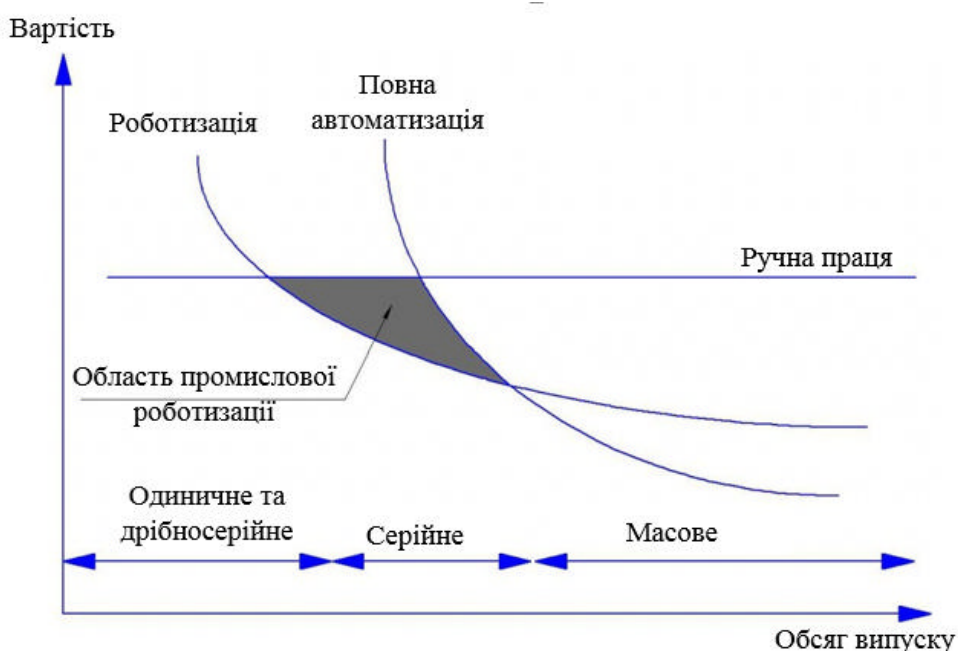


Рис. 1.1. Залежність вартості одиниці продукції від обсягу випуску за використання роботизованих методів

При застосуванні роботів у серійному виробництві за частотої зміни однотипних виробів вдається максимально знизити вартість виробництва одиниці продукції. При збільшенні серійності та переході до масового виробництва ефективнішими є спеціалізовані установки з високим рівнем автоматизації.

За даними IFR (International Federation of Robotics) поширення роботів у промисловості зросло за останні 25 років у 6 разів. Одним з основних напрямків забезпечення ефективності машинобудівних та ремонтних підприємств є автоматизація процесу зварювання або виготовлення зварних конструкцій. Однак це оновлення технологій може потребувати додаткового техніко-економічного обґрунтування.

Успішна інтеграція автоматизованих процесів у зварювання вимагає зміни технологічних процесів їх адаптації, оскільки роботи - це не просто нові інструменти, це нові способи роботи. Роботизоване зварювання широко використовується в суднобудуванні, виготовленні посудин що працюють під тиском, автомобільній промисловості, літакобудуванні, вагонобудуванні, тощо.

Якість зварювання та ефективність роботи роботизованого зварювання мають

значний вплив на промислову сферу. Відомі самокеровані мобільні зварювальні роботи для зварювання U-подібної форми зон зварювання в закритих двокорпусних конструкціях.

Також використовують колісних мобільних роботів для відстеження прямокутного кутового зварного шва на верфі у сталевих конструкціях. Відомий, вдосконалений метод відстеження шва, на основі керування ковзним режимом із фільтром нижніх частот для мобільного робота для визначення місця зварювання. Це може покращити роботу ефективність зварювальних операцій.

Зварювальні роботи перевершують технічних працівників, фокусуючи увагу в наступних аспектах:

- підтримання стабільності якості зварювання;
- збереження безперервності та повторюваності режимів;
- забезпечують точне відстеження зварного шва;

Але звичайте роботизоване зварювання має суттєві обмеження для сучасного виробництва. Це пов'язано з тим, що процес зварювання за своєю суттю є нелінійним, багатofакторним. Роботи не можуть пристосуватися до складних



ситуацій так швидко як люди. Роботизоване зварювання вимагає безперервного та точного контролю.

Застосування датчиків зору в роботизованому зварюванні стало популярним та набуває широкого поширення. Візуальна технологія стала практичним інструментом для робота, який забезпечує «відчуття» зовнішнього середовища. Є багато академічних дослідження та інженерні розробки в області робототехніки зварювання.

Проте цей метод вимагає подальшого методологічного розвитку, чому й присвячено дану бакалаврську роботу.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Характеристика конструкції зварного бака

Виробом є зварний бак, який призначений для застосування у харчовій промисловості, зокрема для перемішування сирної маси при виробництві сиру (рис. 1.2). Бак являє собою конструкцію, що складається з обичайки, днища та трубного вузла. Для обслуговування бака (миття) існує патрубок, по якому відводяться миючі засоби (при закритому вентилі). Матеріал, з якого складається виріб - сталь 12Х18Н10Т (корозійностійка, хромонікелева, аустенітна сталь).

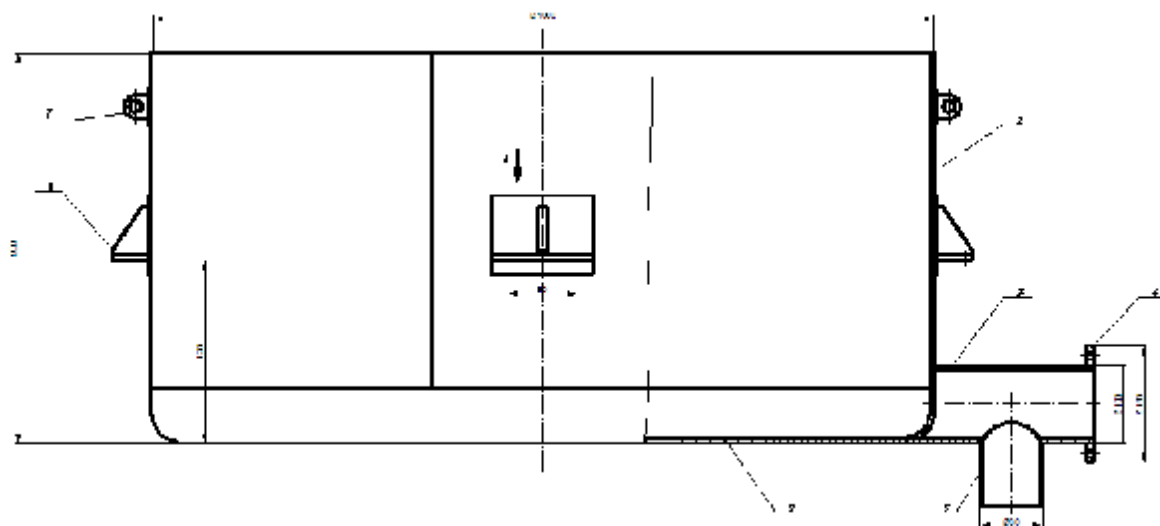


Рис. 1.2. Загальний вигляд зварного бака

Конструкція зварного бака працює у слабоактивному хімічному середовищі, при нормальному тиску і зазнає динамічних навантажень внаслідок руху сировини відносно внутрішньої поверхні.

Конструкція бака являє собою циліндричну конструкцію, що дозволяє легко механізувати процес виготовлення. Загальні розміри бака є порівняно невеликими, що дає економію металу, і дозволяє підібрати необхідне

обладнання для обертання і зварювання його вузлів. Більшість вузлів є типовими, що дозволяє використовувати одну і ту саму технологію виготовлення. Для більшості деталей бака використовується однотипне обладнання. Можна сказати, що бак має високу технологічність, тому що дає можливість легко автоматизувати і механізувати процес виготовлення, що дає менші витрати часу, електроенергії, трудоемкості, а отже і собівартості в цілому [2].

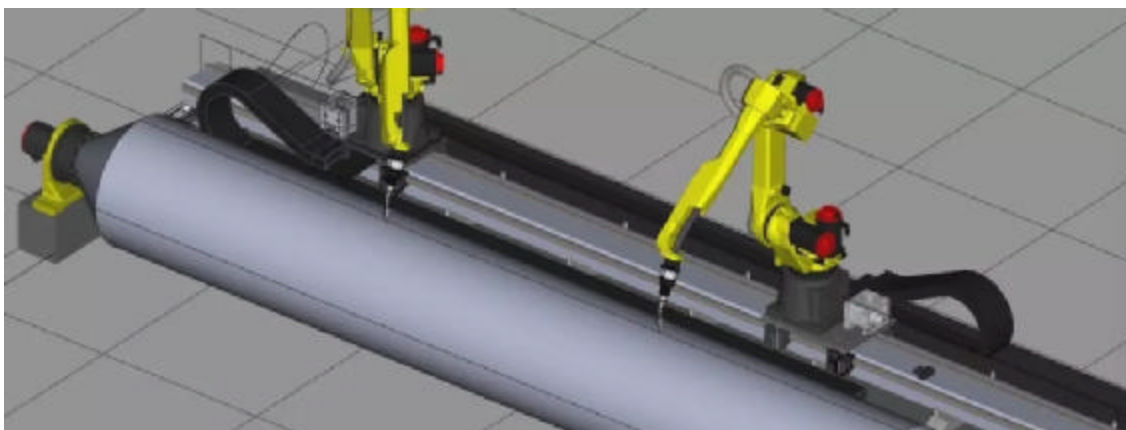


Рис. 1.3. Технологія зварювання ємкості

Приклад роботизованого технологічного комплексу для зварювання поздовжніх та кільцевих швів ємкостей. Роботизований технологічний комплекс (РТК) для зварювання поздовжніх та кільцевих швів паливних баків складається з:

- двох промислових роботів FANUC AM120iC/10L, встановлених на лінійній осі, у комплекті з контролерами та пультами управління;

- шестиметрової лінійної осі Gudel TMF-1 із двома каретками, на які встановлюються роботи;

- двостійкового позиціонера Fanuc вантажопідйомністю до 2000 кг з пересувною задньою бабкою;

- двох комплектів зварювального обладнання для TIG зварювання Selco Genesis 354 PSR;

- двох систем захисту від зіткнень Abicor Binzel CAT2;

- двох зварювальних пальників Abicor Binzel Abitig WH 400W;

- двох систем стеження за стиком Scansonic TH6D;

системи безпеки;

комплекту витратних матеріалів на 3 місяці;

інші необхідні для монтажу комплектуючих.

Орієнтовні габарити комплексу, мм: 9000×5000×2500.

Для запобігання проникненню людини в робочу зону робота (щоб уникнути нанесення маніпулятором робота травм людині) РТК оснащується системою безпеки, що складається із захисного огороження, шафи управління системою безпеки, інтерфейсної плати з модулями входів/виходів DeviceNET, кабелю DeviceNET, електромагнітного замку, електромагнітного замку датчика відкриття хвіртки, світлової колони, панелі оператора, освітлення та інших кріпильних елементів. У разі несанкціонованого проникнення людини в небезпечну зону, робот автоматично зупиняє виконання програми та зупиняється.

Заготівка надходить на комплекс, зібрана на прихватки. Зварювання швів виконують автоматично, за попередньо написаною програмою. Точність і якість виконання зварювання досягається рахунок використання лазерної системи стеження.

## **1.2. Зварне з'єднання як фізичний об'єкт автоматизованого діагностування**

Корпус зварного бака виготовлено із сталі марки 12X18H10T. Сталь 12X18H10T - нержавіюча сталь титановмісного аустенітного класу. Хімічний склад регламентований ГОСТ 5632-72 для нержавіючих сталей аустенітного класу. Переваги: висока пластичність і ударна в'язкість.

Аустенітні сталі використовують як жаростійкі при температурах до 600°C. Основними легуючими елементами є Cr-Ni. Однофазні сталі мають стійку структуру однорідного аустеніту з незначним вмістом карбідів Ti (для попередження міжкристалічної корозії). Така структура виходить після гартування з температурами 1050°C - 1080°C. Сталі аустенітного та аустенітно-феритного класів мають відносно невеликий рівень міцності (700 – 850 МПа).

Хром, вміст якого в цій сталі складає 17-19%, являє собою основний елемент, що забезпечує здатність металу до пасивації і забезпечує її високу корозійну стійкість. Легування нікелем переводить сталь в аустенітний клас, що має принципово важливе значення, оскільки дозволяє поєднувати високу технологічність сталі з унікальним комплексом експлуатаційних характеристик. При наявності 0,1% вуглецю сталь має при  $t^{\circ} > 900^{\circ}\text{C}$  повністю аустенітну структуру, що пов'язано із сильним аустенітоутворюючим впливом вуглецю. Співвідношення концентрацій хрому і нікелю надає специфічний вплив на стабільність аустеніту при зниженні температури обробки на твердий розчин ( $1050^{\circ}\text{C} - 1100^{\circ}\text{C}$ ). Крім впливу основних елементів, необхідно враховувати також присутність в сталі кремнію, титану та алюмінію, що сприяють утворенню фериту.

Зовнішній вигляд шва, його поверхні має свої особливості для кожного способу зварювання, а також для просторового положення, в якому виконується зварювання.

Тому до зварних з'єднань ставлять наступні вимоги:

- дотримання форми і розмірів швів у відповідності до технічних умов, вказаних на кресленнях;
- використання основного і зварювального матеріалів з мінімальним вмістом сірки і фосфору;
- забезпечення умов, що приводять до дрібнозернистості структури металу зварного шва.

Форма і розміри швів повинні відповідати вимогам стандартів на шви зварних з'єднань або креслення. При виконанні стикових з'єднань допускається не виправляти зварні шви, якщо відхилення розмірів валика (ширина і висота) складає не більше 30% від передбачених стандартом розмірів на цей вид зварювання.

Сучасні зварювальні роботи оснащено системами датчиків, технічним зором, лазерним скануванням, зручним цифровим інтерфейсом, сучасним програмним забезпеченням – все це дозволяє контролювати основні

технологічні параметри та сприяє високій точності та якості виконання зварювальних робіт, забезпечують максимальну зручність та безпеку експлуатації.



а



б

Рис. 1.4. Приклад зварювання габаритних – а та прецизійних деалей

У процесі роботизації зварювального виробництва важливо правильно підібрати обладнання, що максимально задовольняє потреби виробництва.

### **1.3. Методи та програми для обчислення фрактальної розмірності зображень**

*Hausdorff Fractal Dimension* (Автору: Florian Agen & Julien Michot, <http://www.webfractales.org/en/rapport.php?see=21>)

Цим методом можна оцінити фрактальну розмірність клітинним методом. Програму написано на MATLAB, й вона має кілька функцій, які можуть бути активовані окремо й доступні через інтерфейс користувача. Функція Hausdorff.m, яку використовують для цілей тестування в цій статті, обчислює фрактальну розмірність 2D-зображень.

Алгоритм обчислення фрактальної розмірності вимагає вхідного двійкового зображення, оскільки цей алгоритм потребує лише контурів, які є на зображенні, програмне забезпечення перетворює відтінки сірого або кольорові зображення у

чорно-білі, спочатку із застосуванням градієнтного фільтра, Лапласа або Гауса, а потім порогів зображення за допомогою методу краю, рис. 1.5.

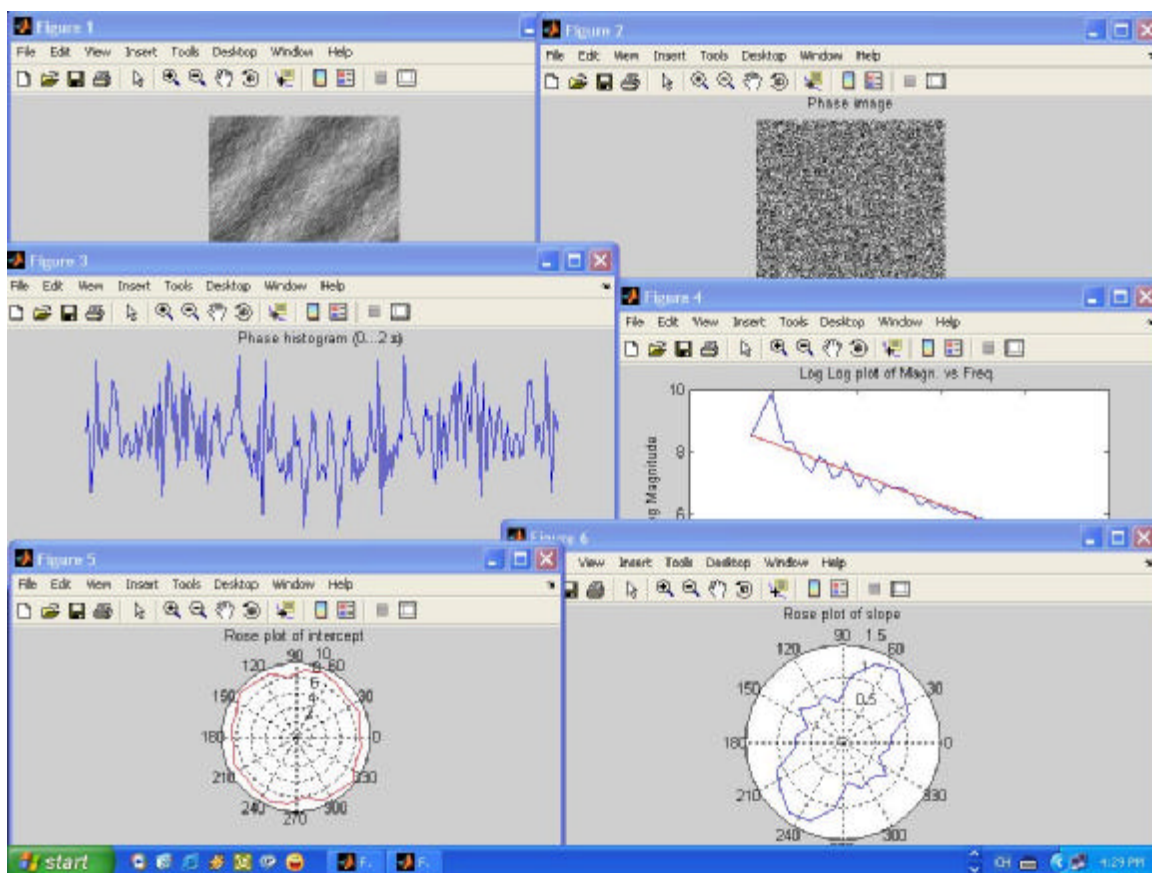


Рис. 1.5. Приклад обчислення ФР в програмі MATLAB

Інтерфейс написано англійською мовою, доступний, ввівши UISegmentFractal у Matlab. Інтерфейс дозволяє вибрати одне або послідовність з кількох зображень. На кожному зображенні виділяють аналізовані області, де обчислюють фрактальну розмірність.

*Fractal Count* - це безкоштовно доступний плагін для ImageJ для оцінки БД 2D та 3D бінарні зображення за допомогою основного методу. (Автори: Пер Крістіан Хенден і Йенс Баш-Віг, <http://www.pvv.org/~perchrh/imagej/fractal.html>)

Вихідний код написаний на Java, і є у вільному доступі. Процедура використання цього плагіна проста: зображення відкривають за допомогою ImageJ, конвертують в двійковий формат (якщо він доступний в іншому форматі), і після цього виконують плагін (Plugins -> FractalCount).

Оцінку ФР виконують з використанням значень за замовчуванням для наданих параметрів самим програмним інструментом.

*ImageJ*. Ці обчислення можна також зробити за допомогою програми ImageJ. Відкривши програмне забезпечення, вибирають «потрібне зображення у файлі → відкрити». Процес бінаризації виконують за допомогою «Процес → Двійковий → Зробити двійковий». Після бінаризації ФР розраховують плагіном FRACLAC, рис. 1.6.

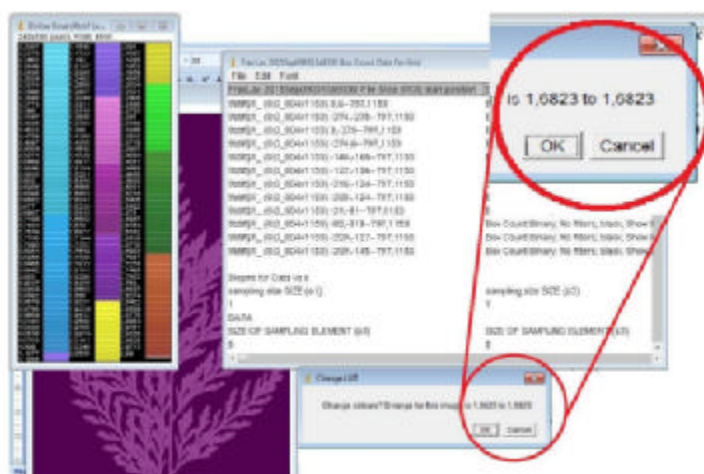


Рис. 1.6. Використання програми imageJ для обчислення ФР

*Java Applet for DB with the Monte Carlo Algorithm* (Автор: Стів Кремптон, <http://www.stevec.org/fracdim/>)

Он-лайн платформа Java є дуже простим інструментом для обчислення ФР «клітинним методом» за допомогою алгоритму Монте-Карло. Має простий інтерфейс, що дозволяє користувачу завантажувати об'єкт аналізу. Наприклад, заданих зображень, програма автоматично шукає точки на зображенні, які утворюють фрактал. Кремптон зазначає, що такий підхід до обробки зображень є дієвим та швидким.

*HarFA (Harmonic and Fractal Image Analyser)*, (Автори: О. Змесаль, Т. Бзатек, М. Незадал, М. Бухнічек, <http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/>)

HarFA (Harmonic and Fractal Image Analyser) - це програмне забезпечення, яке було скомпільовано для виконання гармонійного та вейвлет-аналізу оцифрованих зображень, а також фрактального аналізу, представленого оцінкою



п'яти фрактальних характеристик об'єкту. ФР оцієтьс коробковим методом  
Особливість HarFA в тому, що вона дає кількість точок, які потрапляють на  
лінію оцінювання даних. HarFA надає функціональні можливості для  
трансформації зображення у відтінках сірого, за допомогою процедури  
маскування. Якщо знати, який колір зображення є важливим для нашого аналізу,  
можна використовувати інструмент HarFA.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Схема роботизованого зварювання

Крім лінійних і модулів, що обертаються, на європейських промислових підприємствах для зварювальних і газорізальних робіт використовують роботи з шістьма ступенями свободи при різному їх конструктивному оформленні (рис. 169). Для зварювання у середовищах захисних газів великих металоконструкцій застосовують роботи портального типу, виконані в декартовій системі координат з точністю позиціонування.

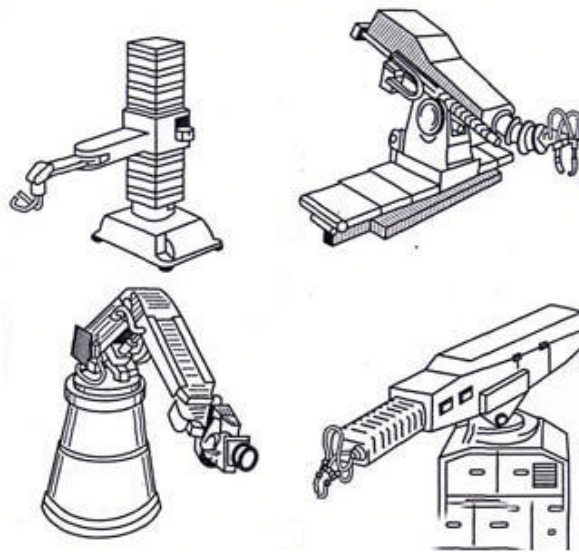


Рис. 2.1. Компоновка роботи з 6-ма степенями вільності.

Системи управління рухом інструменту робота поділяються на циклові, позиційні та контурні.

Циклова система найбільш проста, оскільки програмують зазвичай дві позиції: початок і кінець переміщення інструменту. У роботах із цикловим управлінням широко використовують пневмопривід.

Позиційна система управління задає як послідовність команд, а й становище всіх ланок робота, її використовують із забезпечення складних маніпуляцій з великою кількістю точок позиціонування. При цьому траєкторія інструменту між окремими точками не контролюється і може відхилитися від прямої точки, що з'єднує ці точки. Однак завершення переміщення у кожній точці

забезпечується із заданою точністю. Систему називають однопозиційною, якщо вона передбачає зупинку інструменту в кінці кожного окремого переміщення (у кожній точці). Така система придатна для контактної точкового зварювання, для складальних та транспортних операцій.

Багатопозиційна система управління передбачає проходження проміжних точок без зупинки із збереженням заданої швидкості. При достатній частоті проміжних точок така система управління забезпечує переміщення інструменту заданої траєкторії і тому може використовуватися для дугового зварювання. Однак у разі введення програми на згадку робота вимагає значних витрат часу.

Контурна система управління визначає рух у вигляді безперервної траєкторії або контуру, причому в кожен момент часу визначає не тільки положення ланок маніпулятора, але і вектор швидкості руху інструменту. Ця система забезпечує рух інструменту по прямій лінії або колу шляхом завдання відповідно до двох або трьох точок ділянок траєкторії. Це значно спрощує навчання робота, оскільки окремі ділянки траєкторії можуть інтерполюватися дугами кола і відрізками прямих. Роботи з контурним керуванням використовують для дугового зварювання та термічного різання, рис. 2.2.

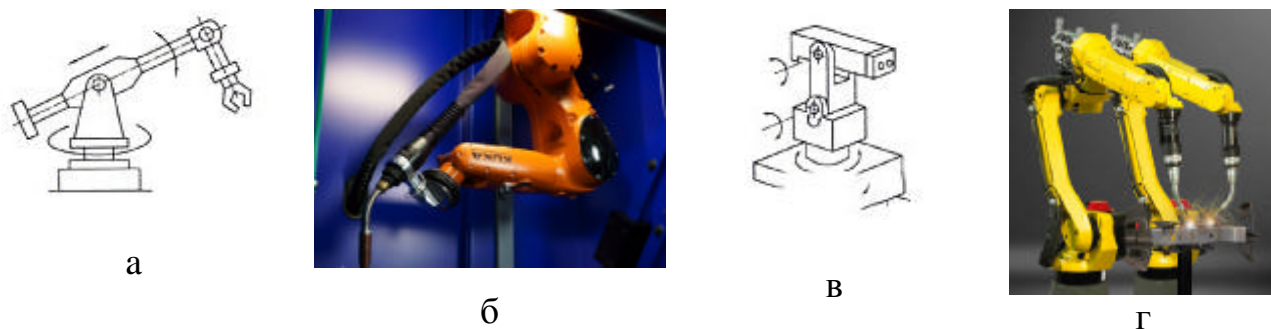


Рис. 2.2. Типові схеми та приклади компонування роботів для роботизованого зварювання

## 2.2 Вибір способу зварювання

Доцільність застосування того чи іншого способу зварювання при виготовленні зварного бака визначається на основі аналізу таких факторів: технічних і економічних вимог до зварних з'єднань; зварюваності металу;

заданої продуктивності; можливості механізації та автоматизації процесу; безпеки і нешкідливості роботи; вартості обладнання і матеріалів.

Найбільш поширені дугові способи зварювання плавким електродом, які мають високу універсальність і простоту виконання. Насамперед, це зварювання покритим електродом, напівавтоматичні та автоматичні способи зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі вуглекислого газу або його сумішах, під флюсом, порошковим дротом. Найбільш широко застосовується дугове зварювання суцільним дротом під флюсом та захисних газів.

Широке використання напівавтоматичного зварювання у середовищі захисних газів заміну ручну зварювання покритими електродами обумовлене більшою продуктивністю, кращими умовами праці і меншими вимогами до кваліфікації робітників.

Автоматичні способи зварювання плавким електродом більш продуктивні, ніж зварювання покритим електродом і напівавтоматичні способи зварювання суцільним дротом. При їх використанні зварні з'єднання мають високу якість. Висока продуктивність автоматичних дугових способів досягається можливістю їх виконання на більш підвищених режимах зварювання, в першу чергу зварювального струму. Забезпечення стабільності якості з'єднань при автоматичному зварюванні досягається за рахунок автоматичного виконання плавлення та формування зварного з'єднання. Порівняно невисокий рівень застосування автоматичного зварювання пояснюється багатьма обставинами, до основних із яких можна віднести наступні: недостатню універсальність цих способів і технологічність створюваних конструкцій; неможливість виконання швів у важкодоступних місцях, складності зварювання криволінійних швів, які розташовані в різних просторових положеннях; необхідність створення спеціалізованих робочих місць для проведення автоматичних способів зварювання й оснастки їх відповідним допоміжним обладнанням; відносно високі додаткові витрати на це обладнання.

При зварюванні під флюсом даної сталі важко забезпечити необхідний вміст феритної фази в металі шва тільки за рахунок вибору флюсів та дротів. На

отримання феритної фази в зварюваному металі впливає також його товщина і форма підготовки кромки, що призводять до зміни частки участі основного металу в шві. Легувати шов можна через флюс або дріт. Легування через дріт забезпечує необхідну стабільність металу шва. Для зварювання використовують низькокремністі фторидні флюси, що створюють в зоні зварювання безокислювальне або малоокислювальне середовище, що призводить до мінімального вигорання легуючих елементів.

Так, як необхідно виконувати шви у різних просторових положеннях і шви, де через конструкцію виробу затруднене утримання флюсу, дугове зварювання під шаром флюсу є не раціональним. Крім того, подача флюсу в зону зварювання може викликати значні технічні складності і значні витрати флюсу.

При виготовленні зварних конструкцій, шви яких розташовані у різних просторових положеннях, перевагу віддають напівавтоматичному зварюванню в захисних газах. В основному зварювання проводиться у середовищі вуглекислого газу з метою покращення формування зовнішнього вигляду шва, деякого підвищення продуктивності і для зменшення розбризкування. При зварюванні в середовищі суміші вуглекислого газу і кисню в зону зварювання подається до 20-40% чистого кисню. Це підвищує окислювальний потенціал захисного середовища, підвищує температуру зварювальної ванни, а це у свою чергу забезпечує зниження розбризкування електродного металу і до покращення якості шва. Процес зварювання виконується з високою концентрацією енергії дуги, що збільшує глибину проплавлення зварюваних деталей, а з врахуванням підвищених швидкостей зварювання створює відносно невелику зону структурних перетворень і викликає менші деформації конструкцій. При напівавтоматичному зварюванні можна виконувати безперервні шви, виконання яких при звичайному зварюванні покритим електродом неможливе через необхідність заміни електродів. Така техніка зварювання скорочує кількість зупинок, при цьому відпадає необхідність додаткового заварювання кратерів, що з меншими витратами дозволяє

отримувати з'єднання з більш високою продуктивністю і меншими витратами електродного дроту.

При зварюванні у вуглекислому газі створюється окислювальна атмосфера в дузі за рахунок дисоціації  $\text{CO}_2$ , що викликає підвищене (до 50 %) вигорання  $\text{Ti}$  і  $\text{Al}$ . Менше вигорають  $\text{Mn}$ ,  $\text{Si}$  та інші легуючі елементи, тому при зварюванні в  $\text{CO}_2$  застосовують дроти, що містять розкислюючі і карбідоутворюючі елементи ( $\text{Al}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Nb}$ ). Недоліком зварювання в  $\text{CO}_2$  є підвищене розбризкування електродного металу та утворення на поверхні шва щільних плівок оксидів, що може знизити корозійну стійкість і жаростійкість зварного з'єднання. Для зменшення налипання бризок на основний метал наносять емульсії, а для боротьби з оксидною плівкою в дугу подається невелика кількість фторидного флюсу АНФ – 5.

При зварюванні в інертних газах підвищується стабільність дуги і знижуються вигорання легуючих елементів. Зварювання аустенітних сталей в інертних газах виконують вольфрамовим або плавким електродом. Для зварювання металу товщиною до 7 мм, але особливо ефективно застосування при малих товщинах (до 1,5 мм). При зварюванні плавленням в інертних газах, активних газах або суміші газів, необхідно домагатися струменевого перенесення електродного металу. При цьому дуга має високу стабільність і практично виключається розбризкування металу, що виключає утворення джерел корозії. Однак струменеве перенесення виникає при критичних струмах, коли можливе утворення пропалів при зварюванні тонколистового металу. Зменшення критичного струму можна досягти, додавши до аргону 3-5%  $\text{O}_2$ , при цьому також зменшується кількість пор, викликаних воднем.

Для зварювання зварного бака будемо застосовувати спосіб електродугового автоматичного зварювання плавким електродом в середовищі аргону. Даний спосіб зварювання обираємо тому, що в випадку зварювання даної конструкції він є найбільш раціональним і має ряд переваг перед іншими способами зварювання. До переваг даного способу зварювання можна віднести: висока ступінь концентрації тепла дуги, що забезпечує в свою чергу мінімальну

зону структурних змін і відносно невеликі деформації зварної конструкції; висока продуктивність процесу за рахунок автоматизації подачі зварювального дроту; менше розбризкування електродного металу порівняно із способом напівавтоматичного дугового зварювання в середовищі вуглекислого газу; високоефективний захист розплавленого металу зварювальної ванни.

Отже, зварювання зварного бака слід проводити у роботизований спосіб плавким електродом в середовищі аргону.

### **2.3. Вибір основного робототехнічного комплексу**

Робототехнічний комплекс (РТК) пропонується побудувати на базі спеціалізованого зварювального робота FANUC ArcMate 100iC 6L та двох робочих зон оснащених позиціонерами (Рис. 1).

Зону №1 оснащено одноосьовим позиціонером FANUC вантажопідйомністю 1500 кг, з переміщуваною частиною у відповідь і регульованими по висоті та положенню роликівими опорами підтримки виробу (Рис. 2). У цій зоні виконуються такі технологічні операції:

- складання більшої обичайки з торцевими елементами та їх проварювання;
- вирізання фігурних отворів повітряно-плазмовим пальником (за потреби)
- приварювання відводів та навісних елементів.
- остаточне складання великої та малої обичайки з відведенням та проварювання ємності

Зону №2 оснащено двовісним позиціонером FANUC вантажопідйомністю 500 кг, з регульованими по висоті та положенню роликівими опорами підтримки (Рис. 3). У цій зоні можна виконувати такі технологічні операції:

- складання та провар відводів малої ємності;
- вирізання фігурних отворів повітряно-плазмовим пальником (опціонально)
- складання та проварювання відводів.

Виходячи з технологічних особливостей виробів у якості зварювального джерела вибрано цифрове джерело фірми «EMW» модель Alpha Q 552 з водяним охолодженням.

Висоту установки робота та розташування позиціонерів визначено з урахуванням можливості зварювання виробу, для зручного завантаження/розвантаження, оптимізовані за габаритами. Для зручності експлуатації та додаткового захисту робота від некваліфікованої експлуатації передбачено додатковий пульт керування РТК (Пульт оператора комплексу).

Комплекс оснащений механічними системами безпеки (огорожами) та захисними фото-релейними бар'єрами. Під час монтажу виробу на позиціонер та присутності оператора в робочій зоні система безпеки блокує всі можливі рухи робота до завершення монтажу та виходу операторів із робочої зони.

При виготовленні бака дефекти зварних з'єднань не повинні перевищувати норм встановлених технічними умовами на виготовлення виробу. Згідно технічних умов, загальна довжина ділянок зварного шва із дефектом не повинна перевищувати 15% від загальної довжини шва зварного з'єднання. Геометричні розміри і форма поверхонь повинні вимірюватися за допомогою засобів, що забезпечують відхилення не більше 30% від встановленого допуску на виготовлення. Габаритні розміри посудин слід визначати шляхом підсумовування розмірів складальних одиниць, що входять в них, і деталей. Контроль якості поверхонь на відсутність розшарувань, пошкоджень поверхні, тріщин, що знижують якість і погіршують товарний вид, повинен проводитися шляхом візуального огляду. Основні типи та конструктивні елементи швів повинні відповідати технічним умовам. Вибраний спосіб зварювання повинен забезпечувати механічні властивості зварних з'єднань не нижче норм, встановлених нормативно-технічною документацією. Механічні властивості зварних з'єднань повинні бути не нижчими норм мінімальних механічних властивостей зварних з'єднань. При проектуванні даної конструкції необхідно проводити її дослідження на технологічність розробниками конструкторської документації разом із технологічною службою. Зварні з'єднання на баку повинні



мати лімітоване проплавлення та плавне сплавлення кромки без дефектів та концентраторів напружень.



Рис. 2.3. Приклади виконаних зварних швів

Таблиця 2.1. Основні технічні характеристики РТК

№ з/п	Назва параметра	Значення
1.	Осі контролера, що контролюються	9
2.	Вантажопідйомність робота, кг	6
3.	Повторюваність, мм	0,08
4.	Вага робота	135
5.	Радіус дії робота	1632
6.	Напруга мережі, В	3*380 , 50/60
7.	Зварювальний струм, А	5-550 А
8.	Напруга холостого ходу, В	70
9.	Клас захисту зварювального джерела	IP23
10.	Габарити джерела живлення, кг	780 x 375 x 625 мм
11.	Маса джерела живлення, кг	78,5
12.	Контур охолодження зварювального пальника	замкнений, водяний
13.	Габарити РТК на основі, мм	3000×3000
14.	Максимальні габарити оснастки та вироби в робочій зоні	
	• довжина не більше, мм	2500
	• діаметр обертання лінійної осі позиціонера не більше, мм	1000
15.	Максимальні габарити оснастки та вироби в робочій зоні 2	

	• довжина не більше, мм	2000
	• діаметр обертання лінійної осі позиціонера не більше, мм	650
16.	Максимальна маса деталей із оснащенням зона 1, кг	1500
17.	Режим роботи роботизованого комплексу	24×7
18.	Обслуговування роботизованого комплексу здійснюється одним оператором за зміну. Основні завдання оператора: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Зміна оснащення</li> <li>• Завантаження, розвантаження виробів</li> <li>• Вибір програми зварювання</li> <li>• Встановлення витратних матеріалів</li> <li>• Візуальний контроль процесу</li> <li>• Реагування на системні помилки</li> </ul>	
19.	Габаритні розміри РТК не більше, мм	3200×3200×2200


*Методи зварювання:*

Зварювання плавким електродом, в середовищі захисних газів і газових сумішей

*Комплектація обладнання FANUC*

2.1. Переваги промислового робота FANUC ARCIMATE 100IC 6L:

- спеціальне програмне забезпечення ARC TOOL;
- висока швидкість переміщення від між позиціями зварювання;
- можливість кріплення пристрою подачі зварювального дроту на осі j3;
- інтегрований кабельний пакет та порожнє зап'ястя;
- можливість розміщення на підлозі, порталі, під кутом та на стіні.

Контрольовані осі	6	
Контролери	R-30iA, R-30iA Mate	
Вантажопідйомність, кг	6	
Позиціонування, мм	0,08	
Вага механічної частини, кг	135	

Радіус дії, мм	1632	
----------------	------	--

### *Контролер робота R-30iB*

Системний контролер R-30iB має ергономічний зовнішній вигляд, здатність до виконання складних завдань. Проста архітектура дає можливість покращувати продуктивність, спрощуючи системну інтеграцію.



Рис. 2.4. Системний контролер R-30iB

Контролер R-30iB є складовою концепції FANUC Robotics PLUG IN OPTIONS, що забезпечує можливості визначення прикладної конфігурації, зберігаючи спільність для всіх користувачів системи. Контролер FANUC R-30iB пропонує підвищений контроль вібрації, який зменшує час прискорення та гальмування робота. Контролер FANUC R-30iB має покращений контроль коливань, який зменшує час прискорення та гальмування робота, що призводить до зменшення часу робочого циклу. Контролер R-30iB забезпечує контроль сервомоторів - з перевантаження, перегріву та виявлення зіткнень, що забезпечує високий рівень безпеки РТК та збільшення терміну експлуатації.

### *Пульт ручного управління IPENDANT TOUCH*

Має просте управління, високі швидкості обміну потоками даних та чудові графічні показники з унікальною функцією 4D графіки.



а



б



в

Рис. 2.5. Функціональні можливості ручного управління IPENDANT TOUCH

Інтерфейс нового пульта iPendant Touch повністю настроюється. Пульт також має набір спеціальних функціональних кнопок.

#### *Одноосьовий сервопозиціонер Fanuc*

Позиціонер встановлюється для скоординованого руху заготовок та робота, що обертаються навколо однієї осі. Правильно виконане програмування дозволяє здійснювати швидке переміщення зниження часу циклу. На фланці позиціонера може бути встановлена пневматична система швидкої заміни оснастки на базі системи «zero point» або жорстко закріплена оснастка. Даний позиціонер оснащується додатковим оснащенням у вигляді підтискної частини. У комплект роликові опори із можливістю регулювання під діаметр обечайки.

#### *Двовісний сервопозиціонер Fanuc*

Позиціонер встановлюється для скоординованого руху заготовок і робота, що обертаються навколо однієї осі. Правильно виконане програмування дозволяє здійснювати швидке переміщення зниження часу циклу.

На фланці позиціонера може бути встановлена пневматична система швидкої заміни оснастки на базі системи «Zero Point», або універсальний трьох кулачковий патрон, що самоцентрується (опціональне постачання). Додатково

позиціонер буде оснащений регульованими роликами підтримки виробу у горизонтальному стані.

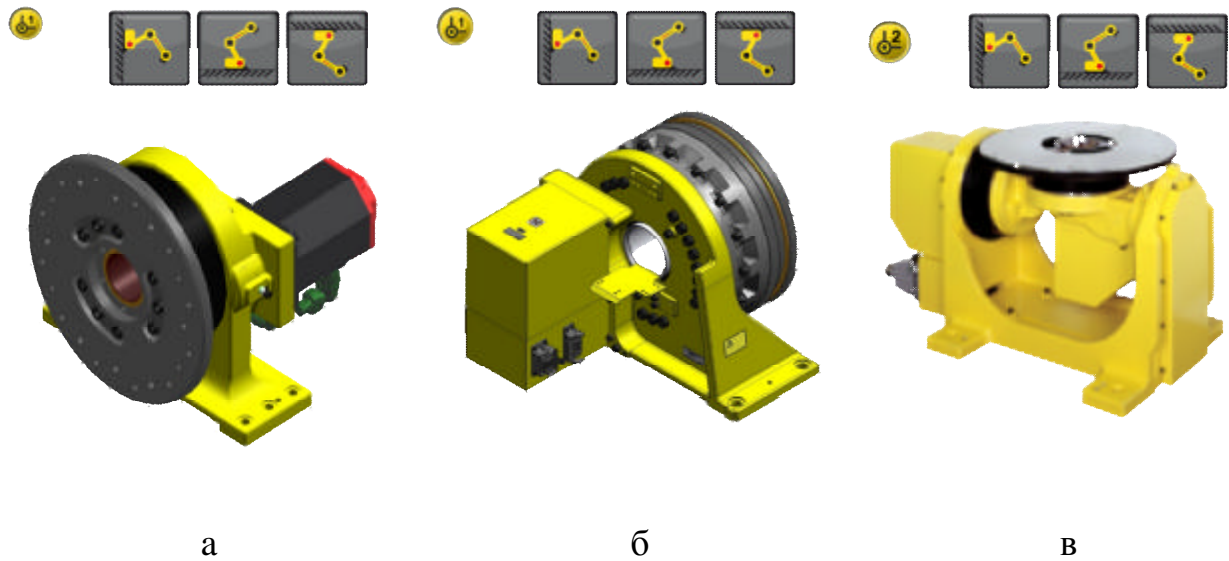


Рис. 2.6. Компонувальні схеми позиціонерів:

Fanuc x 300/500 hollow – а;

Fanuc x 1000/1500 compact – б;

Fanuc x 500 hollow – в.

Позиціонер встановлюється для скоординованого руху заготовок і робота, що обертаються навколо однієї осі. Правильно виконане програмування дозволяє здійснювати швидке переміщення зниження часу циклу.

На фланці позиціонера може бути встановлена пневматична система швидкої заміни оснастки на базі системи «zero point», або універсальний трьох кулачковий патрон, що самоцентрується (опціональне постачання). Додатково позиціонер буде оснащений регульованими роликами підтримки виробу у горизонтальному стані.

#### Система геометричної адаптації робота

Для однозначної прив'язки робота до деталі, що обробляється, існує система геометричної адаптації роботів FANUC. Ця система дозволяє обходити обмеження використання робота в автоматичному режимі, пов'язані з такими умовами:

- Недостатня якість заготовок
- Помилки при попередньому збиранні виробу
- Неточне закріплення в оснастці позиціонера

Основними функціями даної системи є функція наведення електрода на зварний стик та функція відстеження зварного шва та коригування траєкторії зварювальної головки у процесі зварювання.

### *Функція TORCH RECOVERY*

Опція програмного забезпечення, що забезпечує зручне в роботі рішення для автоматичного настроювання Центру Інструменту (TCP). Автоматично компенсує вигин та знос наконечника, рис. 2.7.

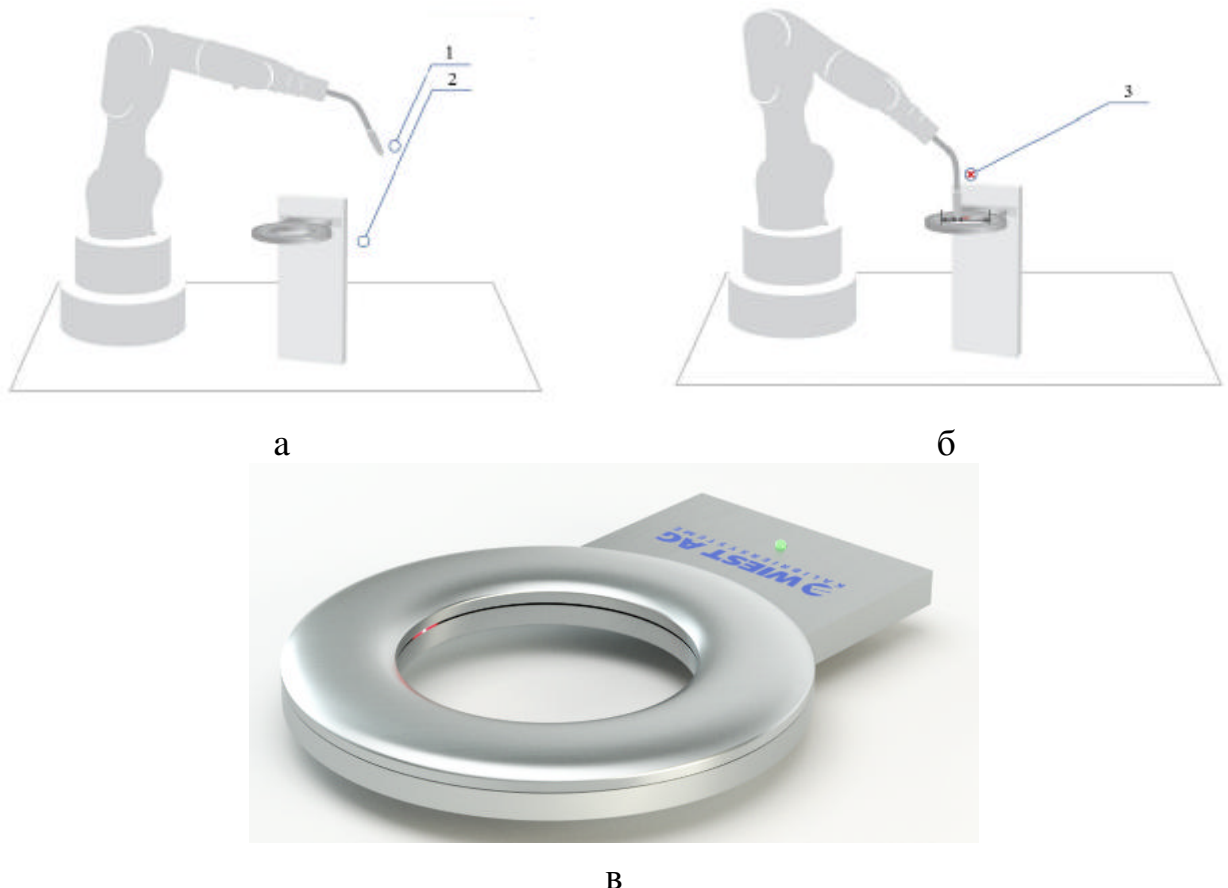
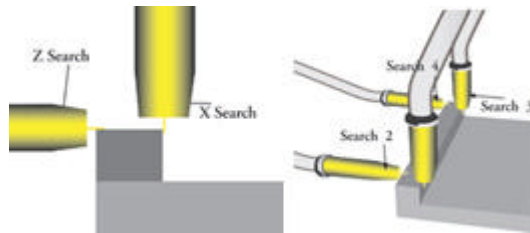


Рис. 2.7. Процес тарування положення зварювального наконечника:  
 а -початкове положення; б – контрольне положення; в – візуальний вигляд сенсора; 1- зварювальний наконечник; 2 – сенсор; 3 – процес тарування положення.

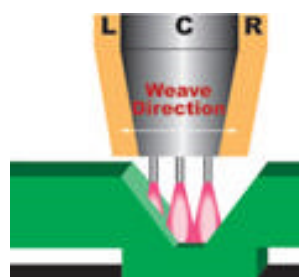
Ця функція програмного забезпечення дозволяє роботу виявити деталі, які розташовані неправильно.



Це необхідно для точного зварювання деталей, які можуть бути деформовані під час зварювання. Робот дротом «обмацує» стик, контролер обчислює зміщення, і зварювальна програма набуває значення зміщення пальника до нової позиції. При правильно спроектованій оснастці для зазначених застосування цієї функції технологічно не актуальна.

#### *Програмне забезпечення відстеження шва FANUC TAST*

Метод контролю зварювального шва, який використовується для контролю положення поверхні деталі, що дуже важливо для роботизованого дугового зварювання. Цей метод використовує як контрольований параметр зварювальний струм у разі зміни довжини дуги. Робот автоматично компенсуватиме зміну положення зварювального пальника, при відхиленні від осі зварювального шва в процесі зварювання. Ця функція не працює при катетах менше 5 мм.



#### *Корекції робочої точки інструменту (TCP)*

Застосовується для швидкої автоматичної перевірки орієнтації та корекції «прив'язки» TCP (включаючи перевірку положення струмознімального наконечника щодо газового сопла) у процесі експлуатації. Робоча точка інструменту може змінювати «прив'язку» з різних причин: нештатний механічний вплив на гусь пальника, удар про перешкоду, загин дроту, знос

струмознімання та роликів, що подають, термічні повідці при тривалій експлуатації. Це може призвести до помилки орієнтації робота щодо зварного шва виробу та шлюбу. Процес автоматичної періодичної перевірки TCP за допомогою даного пристрою дозволяє суттєво збільшити надійність роботи РТК та виключити відсоток браку готових виробів.

*Основні характеристики ROTOLAB:*

- Простий у використанні
- Перевірка орієнтації інструменту 4 сек.
- Час калібрування <30 сек. (у разі відхилення TCP)
- Автоматична корекція даних
- Точність калібрування інструменту <0,2 мм

*Система лазерного відстеження*



Рис. 2.8. Система лазерного відстеження

Система лазерного відстеження складається з лазерного сканера, встановленого безпосередньо перед зварювальним пальником. За допомогою видимої лазерної лінії сканер знімає зварювальний стик та визначає позицію та якість стику в даний момент часу. Отримані дані обробляються процесором і передаються на керування зварювальною роботою. Контролер робота прораховує можливі відхилення та коригує, при необхідності, позицію зварювального пальника, а також змінює параметри зварювання. Ця система забезпечує отримання гарантованих зварних швів.



## 2.4. Комплект зварювального обладнання

Зварювальне джерело модель Alpha Q 552 із водяним охолодженням. Зварювальне обладнання відомого виробника для вирішення широкого загалу завдань. Вибір даного джерела обумовлений типами зварних з'єднань на виробі Замовника для забезпечення балансу ціна/якість. Забезпечує оптимальне поєднання з роботом. У комплектацію входить станція очищення зварювального пальника. Запас потужності дозволяє застосовувати шланг пакети великої довжини: 70 мм до 30 м, 95 мм до 40 м.

Комплектація:

- Зварювальне джерело живлення ВДУ-504
- Провідний пристрій EWM cool82 U44
- Інтерфейс для зв'язку з промисловим роботом
- Зварювальний пальник Dinse
- Станція обслуговування зварювального пальника Dinse

Компанія EWM є лідером з інновацій та технологій на ринку зварювального обладнання. До видатних досягнень належать такі процеси зварювання, реалізовані в даному джерелі:

- *Імпульсна дуга*

Контрольована імпульсна дуга без коротких замикань для всіх положень

- *ForceArc*

Стабільно спрямована, потужна дуга з мінімальним внесенням тепла та глибоким проваром для верхнього діапазону потужності

- *RootArc*

Коротка дуга, що добре моделюється, для максимального спрощення перемички зазору і зварювання в обмежених умовах.

Устаткування для дугового зварювання в середовищі захисних газів може бути універсальним і спеціалізованим. Особливістю обладнання, яке використовується для зварювання в захисних газах є те, що воно включає в себе

вузли, агрегати і допоміжні пристрої призначені для газового захисту металу шва і прилягаючої зони від дії повітря. Технічні і конструктивні особливості джерела живлення, апарата з приладами керування і регулювання процесу обумовлюються технологічним процесом зварювання під шаром флюсу[7].

Джерела живлення зварювальної дуги повинні відповідати таким вимогам:

- забезпечувати необхідні для даного технологічного процесу силу струму і напругу на дузі;
- мати необхідний вид зовнішньої характеристики, щоб виконати умову стабільного горіння дуги;
- мати такі динамічні властивості, які б забезпечували нормальне збудження дуги і мінімальний коефіцієнт розбризкування.

Потужність джерела живлення визначається силою, необхідного зварювального струму для даного технологічного процесу [7].

Враховуючи перелічені вище вимоги, в якості джерела живлення відповідно до необхідної сили зварювального струму та вольт-амперних характеристик джерела вибираємо зварювальний випрямляч універсальний ВДУ-504-1 (рис. 2.7). Це джерело забезпечує всі необхідні характеристики для зварювання в захисних газах. [7]



Рис. 2.9. Загальний вигляд зварювального випрямляча ВДУ-504

Технічна характеристика джерела живлення ВДУ-504-1 наведена в таблиці 2.2.

Табл. 2.2. Технічна характеристика випрямляча ВДУ-504-1

Параметри	Значення
-----------	----------

Нижня границя температури оточуючого середовища, °C	-30
Номінальний зварювальний струм, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А:	
при роботі з жорсткими характеристиками;	100...500
при роботі з спадаючими характеристиками	60...500
Режим роботи, ПВ %	60
Межі регулювання робочої напруги, В:	
при роботі з жорсткими характеристиками;	18...50
при роботі з спадаючими характеристиками	23...46
Напруга холостого ходу, В	80
Напруга мережі живлення, В	380
Первинна потужність,кВ*А	40
Коефіцієнт корисної дії,%	0,82
габаритні розміри, мм	
довжина;	1085
висота;	808
ширина.	1026
Маса, кг не більше	370

Зварювання проводять на постійному струмі зворотної полярності. Це пояснюється тим, що на прямій полярності процес зварювання характеризується великим розбризкуванням, навіть при зварюванні значно меншими струмами. Це приводить до зменшення глибини провару [10].

## 2.5. Вибір зварювальної оснастки

Призначення складально-зварювальної оснастки зводиться до наступного:

- 1) збереження з необхідною точністю габаритів, геометричної форми та взаємного розміщення деталей і вузлів виготовлюваних зварних конструкцій;
- 2) зменшення обсягу ручних робіт при складанні та зварюванні виробів;
- 3) підвищення продуктивності праці;
- 4) зменшення трудомісткості робіт;

- 5) скорочення тривалості виробничого циклу;
- 6) полегшення умов праці за рахунок механізації ручних робіт;
- 7) використання менш кваліфікованої робочої сили;
- 8) зменшення вартості виготовлюваних зварних конструкцій;
- 9) розширення технологічних можливостей зварювального устаткування;
- 10) підвищення якості зварних виробів та забезпечення їх взаємозамінності;
- 11) підвищення рівня комплексної механізації та автоматизації виробництва зварних конструкцій.

Технологічний процес складання та зварювання виробу включає операції складання і зварювання окремих вузлів та виробу в цілому. В залежності від складності зварного виробу здійснюють його розчленування на складальні одиниці, що дозволяє застосовувати прогресивну технологію складання та зварювання на основі модернізації існуючої, застосування стандартної та розробки нової технологічної оснастки.

Складально-зварювальна оснастка повинна забезпечувати:

- установа деталей в зварюваному вузлі без приганяльних операцій;
- точність складання в межах установлених кресленнями допусків;
- вільний доступ до місця прихватки та зварки;
- найбільш вигідний порядок складання та послідовність виконання зварних швів;
- надійне закріплення зварюваного виробу притискачами;
- можливість зварювання в нижньому положенні;
- швидке відведення тепла від місця інтенсивного нагрівання;
- зниження зварювальних деформацій та напружень у вузлі;
- захист усіх базових та установочних поверхонь;
- надійний захист базових та установочних елементів, силових елементів, корпусу оснастки від прилипання зварювальних бризок;
- необхідну міцність та жорсткість елементів пристрою;

- виключення можливості заклинювання затискних механізмів під дією зварювальних деформацій;
- вільне знімання (витягування) складеного або звареного виробу пристрою;
- ремонтоспроможність (можливість зміни швидкозношуваних деталей та відновлення необхідної точності пристрою);
- технологічність пристрою;
- безпека експлуатації (наявність самогальмівних пристроїв та ін.);
  - широке використання типових уніфікованих, нормалізованих та стандартних деталей, вузлів і механізмів, що сприяє зменшенню їх собівартості, строків проектування та виготовлення.

На першому етапі виготовлення зварного бака, виготовляємо обичайку бака. Для цього на вальцювальній установці формуємо з листа обичайку діаметром 1000 мм. Після цього проводимо складання обичайки у затискному пристрої для зварювання повздовжнього зварного шва.

До затискних механізмів висуваються наступні вимоги :

- а) забезпечення необхідного напрямку дії сили притиску заготовок, що виключало б зсуви та перекидання заготовок відносно установочних баз;
- б) забезпечення розрахункової сили притиску заготовок протягом процесу складання та зварювання виробу;
- в) притискачі не повинні спричиняти деформацію деталей та пошкодження їх поверхонь;
- г) швидкодія притискних механізмів;
- г) зручність та безпека в експлуатації;
- д) вільне витягнення складеного виробу з пристрою;
- є) зручний доступ до притискачів для приведення їх в дію;
- ж) надійне закріплення деталей протягом складання та зварювання;
- з) вільний доступ до місць постановки прихваток та зварювання швів.

При складанні обичайок бака необхідно забезпечити правильне взаємне розміщення деталей і притискних елементів по всій довжині. Для цього в серійному виробництві застосовується затискні пристрої. Для закріплення

обичайки та зварювання повздовжнього шва обичайки бака використовуємо затискний пристрій (рис. 2.8). Конструкція пристрою повинна забезпечувати безперешкодне та швидке встановлення і знімання виробу, доступність до місця зварювання.

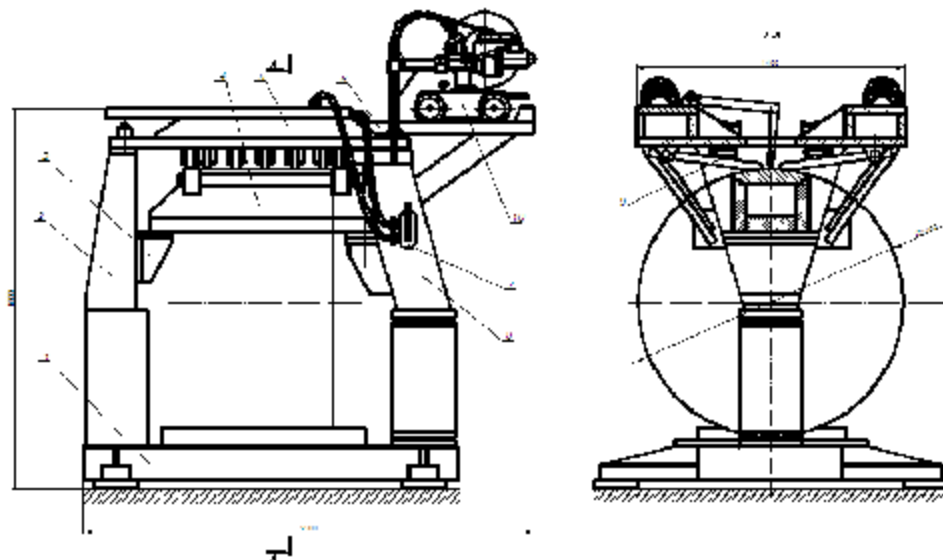


Рис. 2.10. Загальний вигляд установки для зварювання поздовжнього шва обичайки

Затискний пристрій складається з таких основних частин: рами 1, що являє собою просторову зварну металоконструкцію з механізмом затиснення обичайки 11, колон 2, 3, гвинта 4, верхньої контрбалки 5, поворотної консолі 6, підйомної балки 7, ексцентрика 8, піддона флюсозбірника 10, механізму затиснення 11 та пневмообладнання (рисунок 2.8).

Пневмообладнання призначене для підготовки та подачі повітря, очищення його від вологи, і для управління роботою пневмоциліндра та механізму обтискання обичайки. У пневмосистему входять пневморозподільвач крановий, вологоочищувач, регулятор тиску, з'єднувальна арматура і гумові рукави. Верхня балка додатково обладнується технологічною підкладкою (мідною або флюсомідною).

На поворотній консолі встановлюється попередньо звальцований лист металу. Для виконання зварювання консоль повертається в робоче положення та фіксується. В зазор закладається щуп для встановлення необхідного зазору.

Після встановлення зазору кромки листа пневмопритискачами піджимаються до мідної підкладки.

При виконанні прямолінійних швів виріб нерухомий, зварювальний трактор переміщається вздовж лінії шва, виконуючи основний рух. Зафіксовані кромки обичайки зварюються за допомогою зварювального трактора.

По закінченні зварювання обичайка звільняється від пневмопритискачів і механічних притискачів та передається на операцію відрізки технологічних планок.

Після завершення зварювання повздовжнього шва обичайки, з метою зменшення впливу зварювальних напружень і деформацій проводять прокатування повздовжнього шва обичайки зварного бака на установці зображеній на рисунку 2.11.

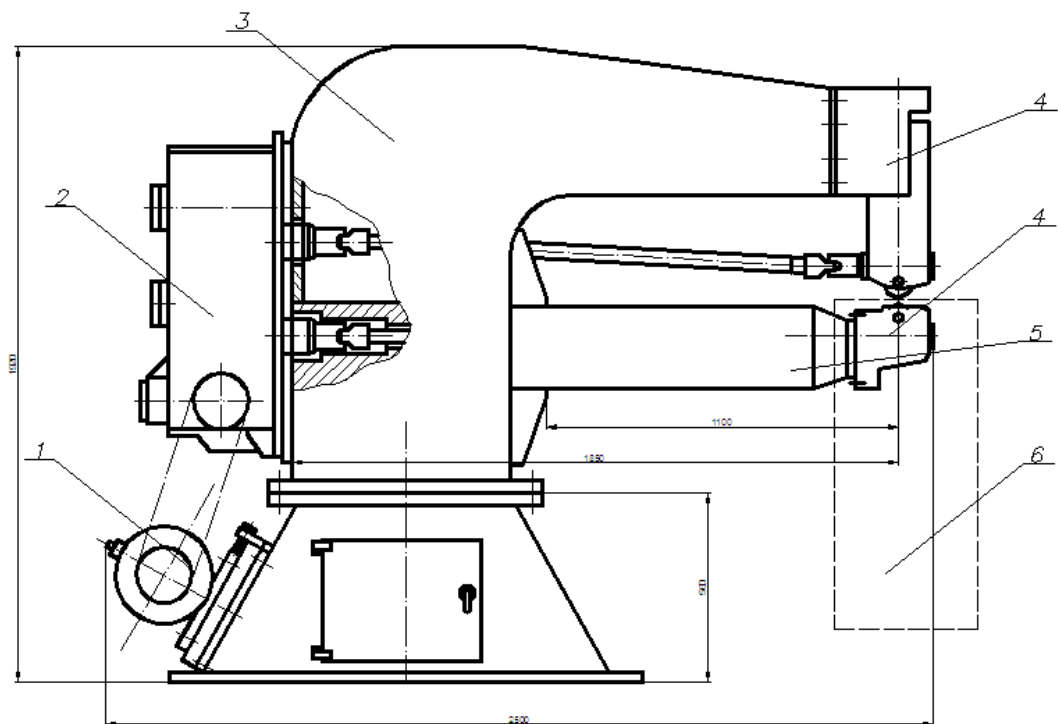


Рис. 2.11. Установа для прокатування повздовжнього шва обичайки зварного бака

Суть прокатування полягає в тому, що зона пластичних деформацій вкорочення, піддається пластичній осадці по товщині. В результаті осадки проходить рівномірне видовження металу в повздовжньому напрямі і компенсація зварювальних деформацій вкорочення деформаціями

видовження. Ефективність зниження залишкових деформацій та напружень залежить головним чином від діаметру і ширини роликів, а також зусилля прокатки.

Схема прокатування зварного шва роликами зображена на рисунку 2.10.

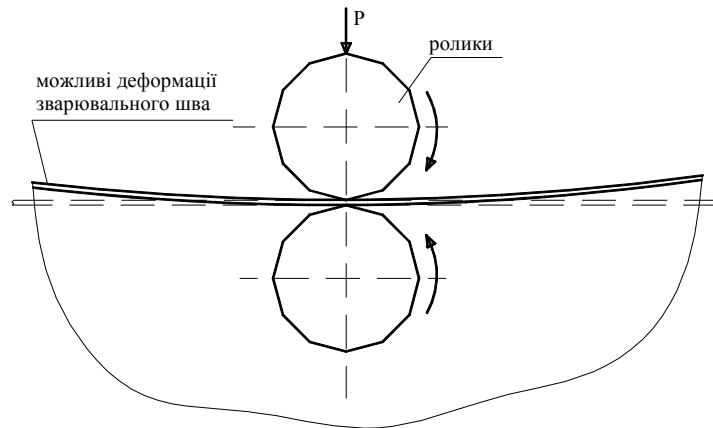


Рис. 2.12. Схема прокатування зварного шва роликами

Під час складально-зварювального процесу навантаження, транспортування, розвантаження, а також кантування металу, заготовок, деталей, зварних вузлів і готових виробів на всіх стадіях технологічного процесу здійснюється з допомогою підйимально-транспортної оснастки.

Оснастка для встановлення та транспортування зварних виробів використовується на всіх стадіях технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій, вона складає значну частину механічного обладнання зварювального виробництва.

Розрізняють зовнішній, міжцеховий і внутрішньо цеховий транспорт. Для зовнішнього і міжцехового транспортування служать засоби універсального призначення і спеціальні засоби, які використовують в основному у зварювальному виробництві. В складі внутрішньо цехового транспорту особливо виділяють між операційний транспорт, призначення якого – транспортування виробів з одного робочого місця на інше у відповідності з технологічним процесом.

Підйимально-транспортне обладнання можна розділити на дві основні групи: вантажопідйимальні та транспортувальні.



Основними вантажопідіймальними машинами в складально-зварювальному виробництві є електроталі та крани [9].

Електроталі виготовляються згідно ГОСТ 22584-77 та мають найбільшу вантажопідйомність 50 кН [9].

Електроталі з вантажопідйомністю 2,5 кН мають ручний привід переміщення, а вантажопідйомністю 10 кН і більше - електричний привід переміщення електроталі вантажопідйомністю 5 кН може бути як ручний, так і електричний. Швидкість переміщення стандартних електроталей становить 1200 м/год, швидкість піднімання - 480 м/год. Керування здійснюється з підлоги за допомогою підвісного кнопочного пульта керування [9]. Найбільша висота піднімання талів - 18 м [10]. Електроталь переміщується по одно рельсовому шляху – монорельсу [9]. В зварювальному виробництві використовують різноманітні типи кранів, як переміщувально – мостові, велосипедні, напівкозлові, так і стаціонарні постові. Найбільше розповсюдження отримали електричні мостові крани, які є універсальним підйомно-транспортним обладнанням, що обслуговує майже всю площу цехового прольоту, і в той час не займає виробничу площу. Особливо широко мостові крани використовуються в індивідуальному виробництві, а у важкому машинобудуванні – і в крупносерійному.

В серійному та масовому виробництвах найдоцільніше використовувати спеціальні транспортні засоби конвеєри [9]. До транспортних машин відноситься обладнання безперервного транспорту (конвеєри), візки, автотранспортувачі, електрокари, а також допоміжні пристрої (щити та візки) [9]. З технологічних та конструктивних міркувань, при виготовленні зварного бака, в якості допоміжного зварювального обладнання, як підйомно-транспортне обладнання використовуємо вантажопідйомну таль вантажопідйомністю 5 кН, а як транспортуючу машину – самохідний візок, за допомогою якого здійснюються як місцеві, так і внутрішньо цехові перевезення. Даний візок виготовляють за ГОСТ 18991-73 [10].

## 2.6. Планування зварювальної дільниці

План виробничої дільниці представляє гобою графічне зображення приміщень і розміщених в них засобів технологічного спорядження, енергетичних і підйомно-транспортних пристроїв, інженерних комунікацій. Для планування (складання плану) необхідно мати певні технічні відомості та характеристики всіх видів засобів технологічного спорядження, які використовуються на виробничій дільниці, в тому числі розміри устаткування, потужності, місця підключення до енергетичних комунікацій тощо.

Складання плану виробничої дільниці відбувається на плануваннях цехів виробничих підприємств, які зазвичай утворюються за розмірами уніфікованих типових секцій: основні (для повздовжніх прольотів) — 144x72 м і 72x72 м із мережею колон 24x12 і 18x12 м; додаткові для поперечних прольотів 21x72 м, (24 + 24)x72 і 30x72 м.

Далі на технологічних плануваннях складально-зварювальної дільниці за допомогою умовних позначень вказуються: перерізи колон будівлі з фундаментами; зовнішні і внутрішні стіни, вікна, ворота і двері; засоби технологічного спорядження; робочі позиції на яких передбачається застосування місцевої вентиляції; робочі місця майстрів; верстаки, робочі столи, підставки; місця для зберігання інструменту; місця складування виробів, деталей та заготовок; майданчики для здійснення технологічних операцій контролю; проходи, магістральні проїзди з урахуванням застосованих наземних транспортних засобів; стаціонарні підйомно-транспортні засоби; місця підводу різних видів енергоносіїв (електроенергії, пари, газу, стиснутого повітря, тощо); підвали, канали, шахти і антресолі; санітарно-технічне устаткування; засоби пожежогасіння (гідранти, вогнегасники тощо).

Планування виробничої площі здійснюється в масштабі: 1:200 для великих цехів, 1:100 — для малих і середніх цехів та 1:50 — для монтажних планувань.

На технологічних плануваннях вказуються такі розміри: ширина цехових прольотів; за необхідності, загальна ширина цеху; крок колон будівлі цеху;

довжина прольотів і всього цеху; відстані від устаткування до колон будівлі; відстані між технологічним устаткуванням і відстані до робочих позицій; габаритні розміри великих засобів технологічного спорядження. Крім того на технологічних плануваннях вказується: номерація засобів технологічного спорядження з її розшифровкою в специфікації; назви всіх виробничих підрозділів, відділень і дільниць.

До розміщення засобів технологічного спорядження та організації робочих місць висуваються такі вимоги:

1. Засоби технологічного спорядження мають встановлюватись у відповідності до основного технологічного потоку переміщення об'єктів оброблення. Мають бути виключені зустрічні та пересічні вантажопотоки.

2. Розміщення засобів технологічного спорядження має забезпечувати безпеку і зручність їх обслуговування.

3. Для кожного робітника має бути забезпечено зручне робоче місце, яке не обмежує його дій під час роботи. Біля кожного робочого місця мають бути передбачені майданчики для складування деталей та готових виробів. Не допускається розміщення деталей та виробів у проходах. Для розміщення на робочому місці пристроїв, оснастки, інструменту мають бути передбачені шафи, стелажі, етажерки тощо. Для тривалого зберігання оснастки та пристроїв використовуються механізовані склади. Має забезпечуватись близькість робочих місць до санітарно-побутової інфраструктури (туалети, душі, питна вода, телефони, їдальні тощо).

4. Розміщення засобів технологічного спорядження і робочих місць має передбачати заходи безпечної евакуації на випадок аварійної ситуації. Мають забезпечуватись протипожежні заходи: зручне розташування протипожежного інвентарю, наявність вільних проходів і пожежних проїздів, всі двері повинні відчинятись назовні.

5. Розміщення засобів технологічного спорядження і робочих місць координується відносно колон будівлі. Під час розміщення засобів технологічного спорядження керуються рекомендованими розмірами проміжків

між устаткуванням в повздовжньому і поперечному напрямках, відстанями від стін і колон. Розмір робочої зони призначається не менше 800 мм. Відстань між устаткуванням та стінами будівлі має бути не менше 1 м.

Планування цеху починається з нанесення мережі колон будівлі цеху, в якому розташовується виробничий складально-зварювальний підрозділ. У будівлях складально-зварювальних цехів величина кроку колон, як правило, для одно-поверхових будівель складає 12 м. У загальному випадку ширина прольоту цеху розраховується. Для спрощеного планування ширина прольоту може призначатись.

Далі призначається відстань від тильного боку робочого місця до осі повздовжньої низки колон (або стіни будівлі цеху), яка зазвичай дорівнює не менше 1 м. Це значення вибирається з міркувань будівельного характеру фундаменти колон цеху не повинні стикатися з фундаментами устаткування, яке встановлюється на окремих робочих місцях. З іншого боку, така відстань необхідна для створення проходу для вільного переміщення робітників під час виконання ними виробничих операцій. У тих випадках, коли розміри робочого місця визначаються розмірами зварювальної kabіни і розташування устаткування в ній передбачено таким чином, що відстань від складально-зварювального стелажа або до осі колони або стіни цеху складає не менше 1 м, значення  $b_1$  прирівнюють нулю.

У випадках, коли  $b_1 > 1$  м, простір, що виходить шириною не менше 2 м вздовж осі повздовжньої низки колон між двома низками робочих місць, які розміщуються в двох сусідніх прольотах, зазвичай використовується для розміщення устаткування для дугового зварювання (зварювальні перетворювачі, випрямлячі і трансформатори) і шаф з індивідуальними ящиками для інструменту робітників.

Після цього призначається ширина проїзду  $b_{по}$  між двома лініями робочих місць, розміщених в одному прольоті, яка приймається в межах 3-4 м. Така ширина необхідна для забезпечення вільного проїзду засобів внутрішньо цехового транспорту у випадках зустрічі двох самохідних візків.

Далі на планування наносяться складові місця, які можуть бути розміщені двояким способом: або з боку проїзду, або в повздовжньому напрямі прольоту – між двома послідовно розміщеними робочими місцями виробничого потоку.

Ширина складового місця  $b_{см}$  залежить від розмірів деталей, що складуються робочих місць, і складальних одиниць, що підлягають складанню-зварюванню на цьому робочому місці. Зазвичай площа, яка займається такими складовими місцями дорівнює або менше площі, яку займає складально-зварювальний пристрій. Мінімальна площа складових місць допускається рівновеликий половині площі, яку має складально-зварювальний пристрій.

Наступною призначається ширина робочого місця  $b_{рм}$ , яка в складально-зварювальних відділеннях цеху обумовлена шириною складально-зварювального пристрою (стелажа, стенда тощо). Остання, у свою чергу, залежить від розмірів зварного виробу, що виготовляється на цьому робочому місці. Орієнтовно можна приймати, що ширина складально-зварювального пристрою дорівнює сумі ширини зварного виробу, який виготовляється на цьому робочому місці, та припусків на кожную сторону (по ширині) в межах 0,2...0,3 м. Окрім визначеної вказаним способом ширини складально-зварювального пристрою в загальний розмір ширини робочого місця  $b_{рм}$  слід включати ширину проходів по 1 м з кожного боку складально-зварювального пристрою. Ці проходи необхідні для переміщення робітників у процесі виконання ними робіт на цьому робочому місці. У тих випадках, коли розміри робочого місця визначаються розмірами зварювальної kabіни, відстань між складально-зварювальним стелажем і огорожею kabіни з тих самих міркувань має бути не менше 1 м.

Після цього призначається відстань  $b_2$  між робочим місцем або огорожею зварювальної kabіни і складовим місцем для деталей і складальних одиниць, а також для складальних одиниць, що відправляються з цього робочого місця на наступні робочі місця, яка приймається в межах 1...1,6 м.

Ширину прогону визначають, якщо місця складування розміщені по фронту робочих місць, тобто по обидва боки прогону по формулі (2.1):

$$B_{np} = 2(\epsilon_1 + \epsilon_m) + \epsilon_n \quad (2.1)$$

де  $v_1$  - відстань від тильного боку робочого місця до осі колон або до стіни будівлі, 1,0-1,6 м;

$v_2$  - відстань між робочим місцем та місцем складування деталей або складальних одиниць, 1,0-1,6 м;

$v_m$  - ширина робочого місця, в тому числі складально-зварювальних стендів, що залежить від габаритів виробу. В загальний розмір ширини робочого місця слід включати ширину проходів для робітників – 1,4-1,6 м ;

$v_n$  - ширина магістрального проїзду між двома лініями робочих місць, які розташовані в одному прогоні, 3 – 4 м.

Ширина прогону буде рівна:

$$B_{np} = 2(1,6 + 1,6 + 1,6) + 4 = 13,6 \text{ м}$$

Остаточний розмір ширини прогону з урахуванням найбільш раціонального розташування устаткування повинен дорівнювати 9, 12, 18, 24, 30 або 36 м. Отже, ширина прогону становить 18 м.

Після цього наносять другий ряд колон. Довжина прогону встановлюється кратною 12 або 6 та визначається розрахунковим шляхом за формулою (2.2):

$$L = l_c + l_1 + n \cdot l_2 + m \cdot l_3 + k \cdot l_4 + l_5 \quad (2.2)$$

де  $l_c$  – довжина складу металу; визначається габаритними розмірами та кількістю типорозмірів листів;

$l_1$  – відстань між складальним та робочим місцем, 1,0-1,6 м;

$n, k$  – кількість стендів;

$l_2, l_4$  – довжина робочих місць, яка визначається розмірами устаткування, або виробу, для складально-зварювальних ділянок  $l = l_B + 2,4$  м;

$m$  – кількість проходів між стендами;

$l_3$  – відстань між стендами, 1,4-2,2 м;

$l_5$  – відстань від тильного боку устаткування до осі колон, 1,0-1,6 м.

Обчислимо довжину прогону:

$$L = 1,1 + 1 + 3 \cdot 4 + 1,4 \cdot 3 + 3 \cdot 4 + 1 = 36 \text{ м}$$

Після розрахунку площі прогону (дільниці, цеху) вибирають відповідну кількість типових уніфікованих секцій.

Висота прогону складально-зварювального цеху обумовлена розмірами складальних одиниць та готових виробів, габаритними розмірами устаткування, наявністю верхнього транспорту (мостових кранів, кран-балок, монорейкових підвісних візків тощо).

Отримані таким чином геометричні розміри компоувальної схеми цеху, який проектується, дозволяють накреслити його план в масштабі 1:200 або 1:400 з нанесенням на плані сітки колон, межі розташування виробничих відділень, а також допоміжних приміщень цеху, якщо дозволяє площа. На плані слід присвоїти номери кожному виду обладнання та скласти специфікацію [6].

### 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Методи дефектоскопії зварних з'єднань

Завданням контролю якості у зварюванні є встановлення наявності або відсутності дефектів в зварних швах та виявлення їх розмірів і характеру. Така інформація, по-перше, дозволяє оцінити можливість ремонту; по-друге, визначити причини утворення дефекту та намітити заходи, які дозволяють запобігти його виникненню.

Вибір методів контролю якості визначається характером отримання необхідної інформації, особливостями контролюючого об'єкту є можливість його застосування в конкретних виробничих умовах. Зовнішні дефекти зварних з'єднань виявляють візуальним методом контролю. Його проводять неозброєним оком, або з використанням лупи. Це проста, але дуже важлива контрольна операція. Її необхідно виконувати старанно і кваліфіковано, з обов'язковою реєстрацією всіх зовнішніх дефектів для їх аналізу і вияснення причин.

Методи дефектоскопії відносяться до методів неруйнівного контролю зварних швів. Їх використовують з метою виявлення дефектів – несцільностей. На практиці відомо десять видів неруйнівного контролю, що поділяються в залежності від способу виявлення дефектів. Основними методами контролю дефектів зварних з'єднань є радіографічний, радіоскопічний, ультразвукова дефектоскопія, магнітопорошковий, магнітографічний, капілярний, вихрострумний, візуальний і візуально-оптичний. Кожен з методів має свої особливості і область застосування. Основні фактори, що визначають застосовуваність методів, зводяться до наступних.

*Фізичні властивості матеріалу.* Радіаційні методи використовують для контролю будь-яких конструкційних матеріалів, магнітні - для феромагнітних матеріалів (метали на основі Fe, Ni, Co), а вихрострумні – для електропровідних матеріалів.

Товщина і розміри виробу. Радіаційний та ультразвуковий контроль використовують для зварних з'єднань різної товщини, а вихрострумний і магнітний контроль для малих товщин.



*Стан поверхні.* При ультразвуковому контролі необхідно зачищати контрольовану ділянку зварного з'єднання з нанесенням контактної мастила. При магнітному контролі необхідно знімати надмірне підсилення шва. Особливістю капілярного контролю є особливо ретельна підготовка поверхні.

*Характеристики дефектів.* При виявленні об'ємних дефектів (пори, включення) раціональний радіаційний контроль, а площинних (тріщини, непровари) - ультразвуковий, магнітний та вихрострумний контроль. Дефекти, розташовані в поверхневому шарі найбільш надійно виявляються вихрострумовим, капілярним і магнітним контролем, а внутрішні дефекти - радіаційними і акустичними методами.

*Розміри допустимих дефектів.* Вони визначають технічні умови на відбраковування зварних швів і залежать від умов експлуатації зварних виробів.

*Технічні характеристики.* Основними технічними характеристиками методів неруйнівного контролю є чутливість, роздільна здатність і достовірність. Чутливість методу визначається найменшими розмірами виявлених дефектів, роздільна здатність - найменшими відстанями між двома сусідніми виявленими дефектами, а достовірність - ймовірністю пропуску дефектів з неприпустимими розмірами.

Радіаційні методи контролю чутливі до об'ємних і площинних дефектів, розміщених в напрямку просвічування, ультразвукові методи - до будь-яких площинних внутрішніх дефектів, а магнітні і капілярні методи - до плоских поверхневих дефектів. Ці ж методи мають високу роздільну здатність і вірогідність контролю.

Методика механічних випробувань реалізована на базі модифікованої гідравлічної установки для статичних випробувань ZD-100Pu та детально описана у роботах проф. М.Г. Чаусова.

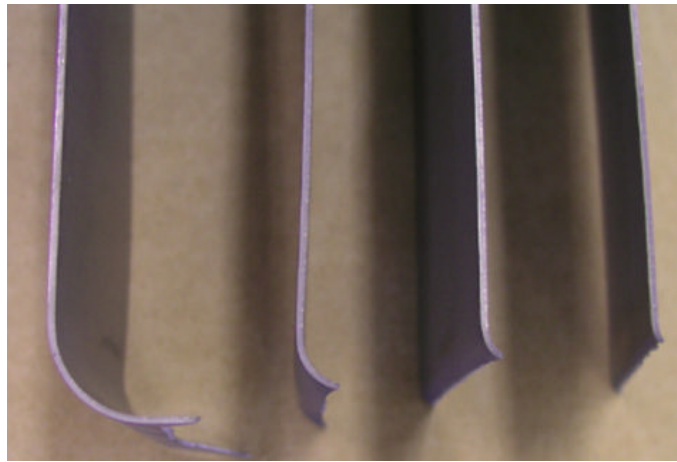


Рис. 3.1. Зруйновані зразки

Основна ідея запропонованої методики полягає у високошвидкісному розтягуванні матеріалу з накладанням на нього коливального процесу з високою частотою (1...2 кілогерц), що відповідає власній частоті випробувальної машини. Конструктивно це досягається тим, що, крім зовнішнього контуру (навантажуваної рами випробувальної машини), у випробувальну машину введений внутрішній контур. Внутрішній контур є найпростішою статично невизначеною конструкцією, у вигляді трьох паралельних елементів, які навантажуються одночасно - центрального зразка та двох зразків – супутників (крихких проб) різного поперечного перерізу, виготовлених із загартованих сталей 65Г або У8...У12.

Встановлено, що руйнування досліджених сталевих конструктивних елементів з шварним швом роботизованого походження ініціюється початковою тріщиною, що зароджується у дефектів конструктивно-технологічного походження на перших стадіях навантаження. Розвиток тріщини, що утворилася, і інкубаційний час до її переходу в магістральну визначаються мікромеханізмами руйнування.

При збільшенні нагріву та недостатньому відводі тепла від зони шва, ймовірніше руйнування елемента товщиною до 12-16 мм за механізмом сколювання. Виникнення умов підростання початкової тріщини в пружно розтягнуту частину перерізу зварного шва призводить до зародження та розвитку по перерізу крихкої магістральної тріщини.

### 3.2. Фрактальна розмірність як параметр фрактодіагностування

Термін фрактал був введений Бенуа Мандельбротом (B. Mandelbrot) у 1975 році для позначення нерегулярних самоподібних математичних структур. Основне визначення фракталу, дане Мандельбротом, таке: «Фрактал - це структура, що складається з частин, які в певному сенсі нагадують ціле.» Слід визнати, що це визначення не завжди є правильним через його неконкретність. Можна навести багато прикладів самоподібних об'єктів, які не є фракталами, наприклад, зображення залізничної колії, що спускається до горизонту.

У найпростішому випадку невелика частина фрактала містить інформацію про весь фрактал. Сучасне визначення самоподібних множин введено Дж. Хатчінсоном у 1981 році. Якщо множина містить кілька компонентів, подібних до всієї множини, він вважав її самоподібною множиною, тобто компоненти, отримані шляхом афінного перетворення - обертання, стиснення та відображення вихідної множини.

У багатьох випадках досліджують підмножини, де компоненти подібності до всієї множини є лише наближеними, а в самій множині Мандельброта ці компоненти лише подібні (а іноді й ні), а не всю множину. Зокрема, деякі дослідження фрактодіагностування зосереджені на встановленні зв'язку між особливостями мікроструктури та в'язкістю руйнування або енергією руйнування.

Евклідовий вимір описує об'єкти в просторі як цілі числа. Таким чином, пряма має значення одиниці ( $D_E=1$ ), площину з розмірністю два ( $D_E=2$ ) і а об'єм тривимірний ( $D_E=3$ ).  $D_f$ , як параметр, це просто число, яке відображає певний аспект геометричної форми. Обчислюють значення розміру фракталу, тому що це дробове число. Його називають значенням, оскільки воно забезпечує міру заповнення простору аналізованого об'єкту.

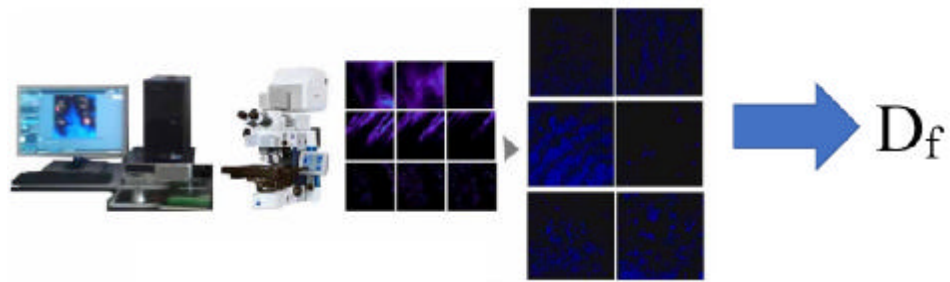


Рис. 3.3. Послідовність держання зображень поверхні руйнування та обчислення ФР

Хілдерс і Замбрано виявили лінійну кореляцію між ударною в'язкістю та фрактальною розмірністю (ФР) нержавіючої сталі за кімнатної температури. Tang і Wang дійшли висновку, що шорсткість поверхні ударного руйнування можна оцінити за допомогою фрактального підходу. Венкатеш та ін. також виявили лінійну залежність між ФР і шорсткістю поверхні зламу. Фу та ін. застосували ФР для дослідження явищ водневого окрихчення в пластичних сталях.

Що стосується монотонних властивостей, то про прямий зв'язок між межею міцності на розтяг і ФР первинних частинок  $Mg_2Si$  у композитах із матричних сплавів Al-Mg-Si встановлено Акрамі та співр.

Літературні дані свідчать про значні відмінності в розвитку фронту втомної тріщини, що впливає на особливості поверхні руйнування. З точки зору втоми, ці відмінності можна пояснити не лише «ефектом виїмки» та історією навантаження, але й умовою текучості. Незалежно від геометрії зразка, текучість на початковій стадії втоми обмежена досить невеликою ділянкою в околі поверхні.

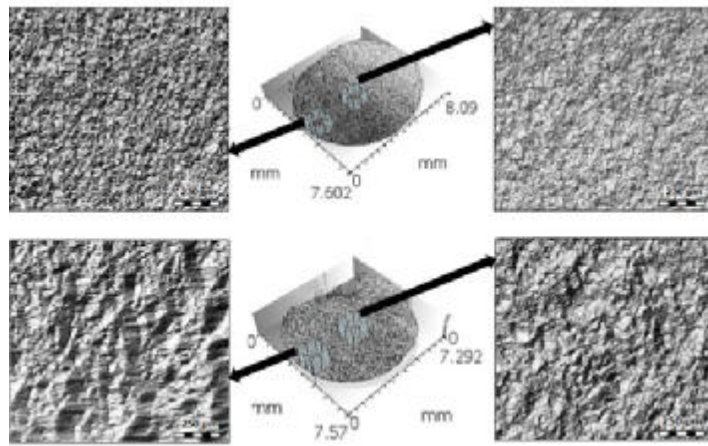


Рис. 3.4. Міра впорядкованості як параметр енергоємності руйнування

Навпаки, із поширенням тріщини швидкість їх росту зростає, що призводить до великих площ підданих деформуванню. Отже, на ранній стадії росту тріщини, локальні структурні неоднорідності впливають на зародження та ранню стадію росту тріщини, змінюючи локально умови текучості. Із збільшенням тріщини цей ефект поступово зникає, і умова текучості має тенденцію до усереднення по всьому фронту тріщини, що може пояснити подібність параметрів поверхні руйнування. Зазначені закономірності є передумовою застосування фрактальної розмірності  $D_f$  для опису топографії поверхонь руйнування.

Метою даного розділу кваліфікаційної роботи було автоматизоване визначення фрактальної розмірності для поверхні руйнування в зоні зварного шва. Однак більшість запропонованих підходів можуть бути застосовані до інших об'єктів.

Ідея методу загальновідома:

1. На скануючому електронному мікроскопі одержують зображення поверхню зламу, що виникла внаслідок руйнування;
2. Виконується чисельна обробка записаного зображення та обчислюється фрактальна розмірність.

Цей метод можна розділити на наступні етапи:

- підготовка поверхні зламу;
- запис комп'ютерного зображення поверхні руйнування;
- чисельний аналіз записаної фрактограми;

- тестування зручності використання аналізованого зображення
- обчислення фрактальної розмірності.

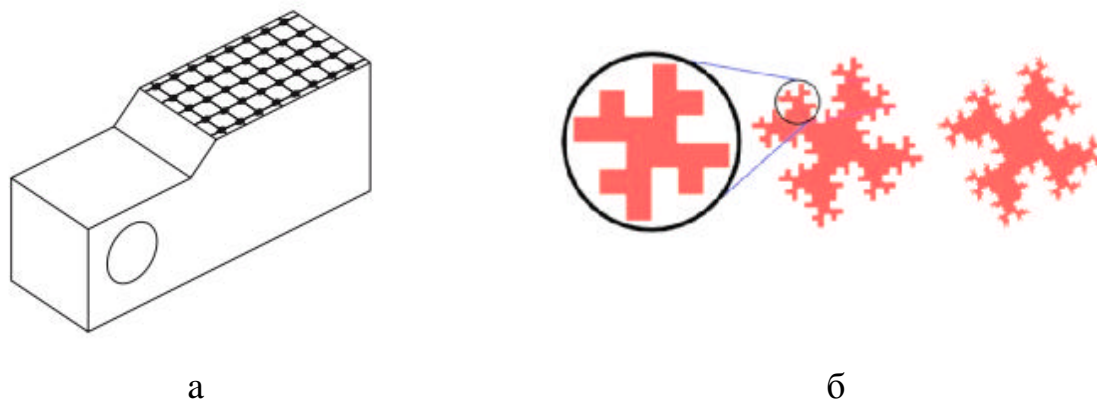


Рис. 3.5. Розташування місць вимірювання фрактальної розмірності на поверхні зламу компактного зразка – а та самоподібність елемента поверхні-б

### 3.2. Фрактальна розмірність як параметр фрактодіагностування

Одним із завдань комплексного дослідження фрактограм є фрактальний аналіз іміджу цих об'єктів - їх самовпорядкованості. Щоб добре виконати такий аналіз, ці об'єкти повинні бути розташовані в межах аналізованої площі

Для вирішення проблеми локалізації об'єктів на зображеннях використовуються методи сегментації. Ці методи все ще актуальні для вирішення проблем технічної точки зору, оскільки всі об'єкти будуть виявлені, з певною точністю. Локалізація форм рельєфу значною мірою залежить від якості загального аналізу зображення. Є багато методів сегментації зображень, вибір яких залежить від багатьох факторів, наприклад, самого зображення, складності форми об'єкту досліджень, тощо. Фрактальний аналіз зображень проведено в межах методу, який запропонував проф. І.М. Журавель.



Рис. 3.6. Основні етапи досліджень фрактограм та результати аналізу зображень

Отже, фрактал - це об'єкт, елементи якого успадковують властивості «батьківської» мікроструктури полікристалу. Фрактальна розмірність - це чітка кількісна ознака структурних параметрів матеріалів зі складними структурами, такими як зерна, межі зерен, площини руйнування, скупчення дислокацій, дрібні частинки другої фази тощо. Фрактальна розмірність відображає компактність простору, займаного досліджуваними конструктивними елементами [6].

Діапазон масштабів довжини (збільшень), на якому проводяться мікроскопічні спостереження здійснюється, має велике значення. При кожному збільшенні існує мінімальна відстань між пікселями, які ще можна розрізнити, тобто -найкоротша шкала довжини. Збільшуючи збільшення (зменшуючи масштаб довжини) виявлено: межі зерен, смуги ковзання та подібні мікромеханізми руйнування. Вся ця інформація може вплинути на значення ФР. Починаючи з певного масштабного рівня, подальше зменшення масштабу довжини вже більше не вносить інформації в систему, і фактично розмірність не змінюється в кількох діапазонах цієї величини. Це так званий

характеристичний фрактальний масштаб, визначення якого забезпечує фізичну коректність методу, див. рис.

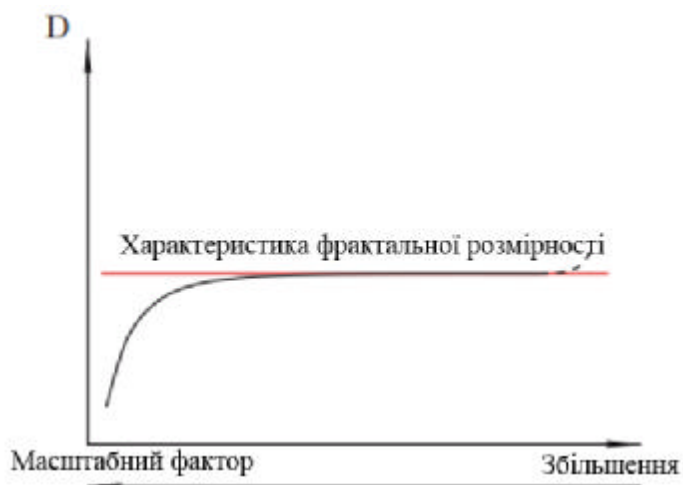


Рис. 3.7. Вплив збільшення на фрактальну розмірність реального об'єкту

Сьогодні актуальність дослідження фрактальної розмірності зростає. З'явилися нові обчислювальні методи, які є результатом розпізнавання помилок або вдосконалення існуючих методів.

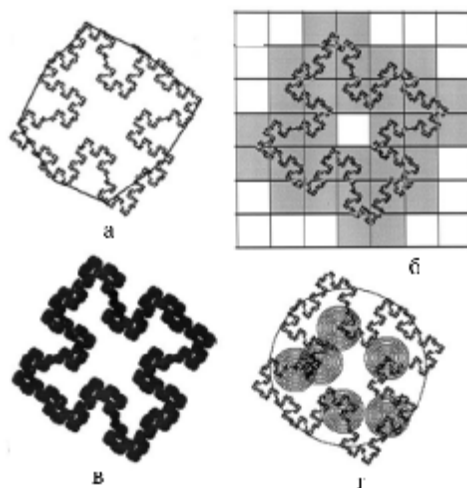


Рис. 3.8. Принципові методи фрактального аналізу: метод штангенциркуля – а; метод підрахунку комірок – б; метод дилатації – в; метод радіусу мас.

Розглянемо їх докладніше:

**Радіус маси**  
**(radius mass)**



Цей метод застосовують до певної точки, яку називають центром обчислення, і вона визначає закон розподілу моментів навколо неї. Виділюють область в околі цієї точки, а радіус  $R$  поступово зростає. На кожному кроці додають загальну кількість зайнятих точок  $N(\varepsilon)$  у межах кола. У цьому методі  $\varepsilon$  становить  $2.R + 1$ .

Радіус маси визначає відношення площі в межах даного радіуса до розміру цього радіуса (або поля зору). Якість вимірювання можна оцінити за радіусом [1] за шкалою логарифмічної площі.

**Функція.** Особливістю цього методу є його унікальність. Цей спосіб підходить для колоподібних об'єктів.

### **Коробковий метод**

#### **(Box-counting)**

Методи підрахунку квадратів (Box Counting метод, метод сітки, метод заповнення комірки, метод поділу на квадрати) є «золотий стандартом» у методах фрактального аналізу внаслідок своєї простоти та універсальності.

Більшість морфологічних досліджень сприяли його адаптації до численних модифікацій об'єктів, створенню різноманітних комп'ютерних програм та обчислювальних алгоритмів.

Методи розрахунку квадратів містить визначення розмірності Мінковського на основі обчислення розмірів клітин, розмір «коробок». У 2D-версії зображення вкрите фрактальною сіткою, яка поділяє зображення на квадрати певного розміру. На практиці застосовують звичайну сітку, після чого обчислюють кількість зайнятих комірок. Логарифм  $N(R)$  співставляють з логарифмом  $1/R$  (де  $R$  - розмір однієї комірки), кількість зайнятих комірок формує лінію, а градієнт відповідає розміру поля. Приклад застосування коробкового методу до аналізу зламу зразків показано на рис.

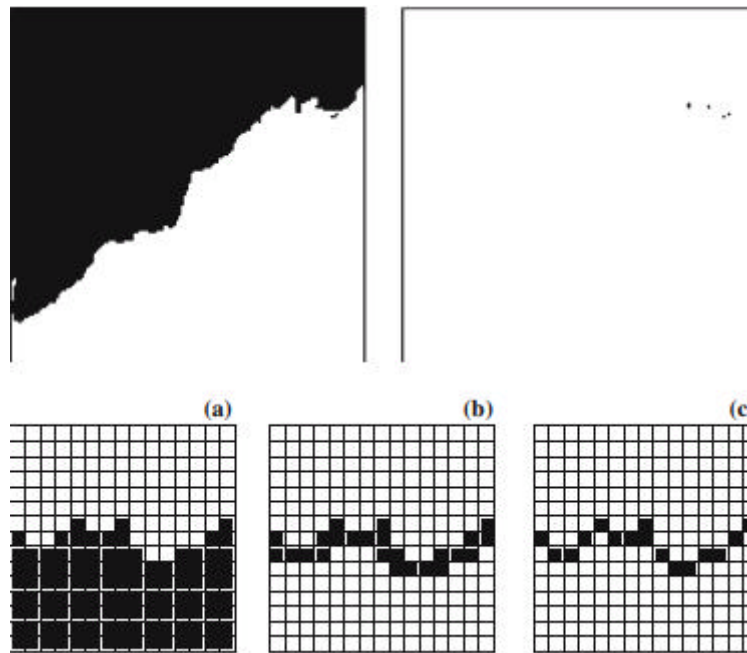
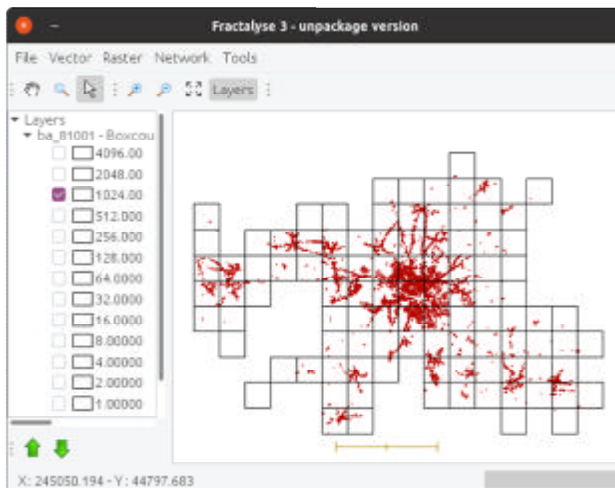


Рис. 3.9. Приклад аналізу зламу клітинним (кроковим методом)

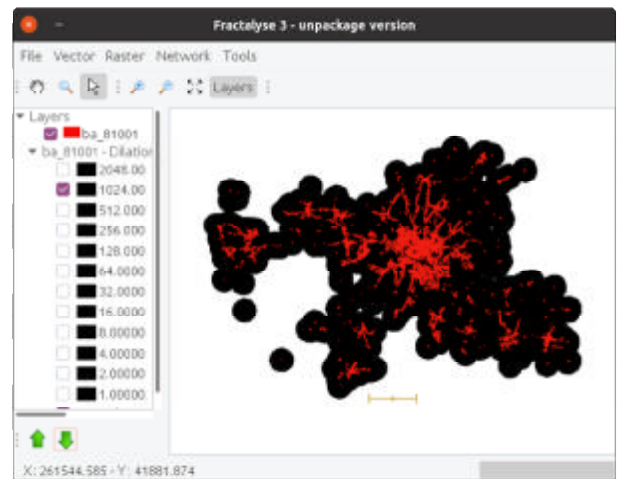
**Особливість.** Результативність методу є похідною орієнтації сітки та її вихідного положення. Для обчислення інтенсивності (кількості комірок на зображенні) потрібна спеціальна обробка, наприклад, з використанням довільних випадкових символів.

### Метод розширення (dilation)

Цей метод ґрунтується на алгоритмах Манковського та Булігана. Мета - використовувати теоретичні вимірювальні методи для визначення розміру об'єкту. У цьому аналізі кожна точка оточена квадратом розміру  $\varepsilon$ , поверхня якого вважається повністю зайнятою. Тоді розмір цих квадратів поступово зростає, при цьому вимірюють загальну площу  $A(\varepsilon)$ , зайняту кожною стадією. Із збільшенням площі маса зайнятої поверхні стає менше маси, пропущеної  $\varepsilon$ , і ми поступово наближаємось до початкового вигляду. Оскільки все більше і більше квадратів перекриваються, загальна площа, що займає задане значення  $\varepsilon$ , стає меншою, ніж у випадку, коли включається однакова кількість підстановок, кожна з яких формує оригінальну форму. Поділивши цю загальну поверхню на поверхню тіла площею  $(\varepsilon^2)$  отримаємо приблизну кількість елементів  $N(\varepsilon)$ , необхідних для покриття всього тіла.



а



б

Рис. 3.10. Інтерфейс програми для обчислення фрактальної розмірності: а – коробковий метод; б – дилатація (розширення)

Dathe та ін. (2001) опублікували звіти про застосування цього методу у галузі ґрунтознавства. Метод розширення, має природу близьку до методу «підрахунку комірок», але використовує інші структуровані елементи замість комірок для покриття поля обстежуваного об'єкта, Dathe et al., 2001. Зображення сформоване квадратними або прямокутними пікселями. Коли використовують коло, його діаметр задається пропорційно колу (у способі підрахунку комірок - довжина сторони комірки). Якщо є потреба мати однаковий ступінь у кожному напрямку, приріст ортогональних та діагональних ліній повинен бути зміщений на  $\sqrt{2}$ , що відповідає гіпотенузі площі поперечної одиниці довжини (Кауе, 1989). Довжина досліджуваного об'єкта обчислюється за кількістю кіл, а потім визначається нахилом лінії регресії між логарифмом довжини об'єкта та логарифмом діаметра. Він визначається наступними співвідношенням:

$$L(\delta) = c\delta^{1-D_f} \quad [2]$$

**Особливість.** Dathe та ін. (2001) протягом тестування методу підрахунку комірок та метод розширення на одному зображенні, було встановлено, що значення фрактальної розмірності, отримані цими двома методами, незначно відрізняються. Однак вони виявили, що фрактальні розмірності оцінок двох методів відрізняються: розмірність методу підрахунку комірок - це розмірність

Колмогорова, а розмірність, отримана методом розширення, є вбудованим розміром (Маньковський-Буліган).

### **Метод кореляції (correlation)**

Кожну точку рисунку оточує невелике квадратне вікно. Кількість зайнятих у кожному вікні точок, додається. Таким чином можна визначити середню кількість балів, яку можна обчислити у вікні певного розміру. Цей самий процес застосовували й для більших вікон. Вісь X графіку являє розмір сторінки вікна обчисленої за формулою:  $\varepsilon = (2i + 1)$ . На осі Y відкладено середню кількість точок, обчислених у вікні.

Теорія кореляційного аналізу співвідносить вимірювання фрактального розміру другого порядку до існування двох точок на заданій відстані (середня відстань між парою наявних пікселів). В основному, можна обрати будь-яку форму для вікна, наприклад: коло, шестикутник тощо. Оскільки пікселі є квадратними, помилок округлення можна уникнути, вибравши квадрат. У теорії хаосу кореляційний розмір (представлений  $\nu$ ) є мірою вимірювання простору, зайнятого набором випадкових точок. [1] [2] [3]

Справжнє використання корельованих розмірів полягає у визначенні розмірів фрактального об'єкта (можливо, дробових).

Метод «кореляційного розміру» має перевагу прямих та швидких розрахунків. Отже, якщо доступно лише кілька точок, шум невеликий і зазвичай відповідає іншим розрахункам розмірностей.

Для будь-якої  $N$ -точки в  $m$ -мірному просторі [3]

1. Стандартне співвідношення асоціацій між подібними об'єктами та між об'єктами з подібними ознаками.

2. Симетрична кореляція - симетричне розширення може створювати плавні межі кінцевих точок сигналу, з метою уникнення відриву кінцевої точки. Використано дискретну косинусну трансформацію (DCT) для проведення симетричної кореляції без збільшення кількості проб.

**Особливості.** Цей метод можна використовувати для відмежування (детермінованої) хаотичної поведінки від справді випадкової поведінки. Проте, якщо детермінований механізм генерації дуже складний, він метод не може добре розпізнати детерміновану поведінку. (Grassberger and Procaccia, 1983)

**Методи асоціації** У нашому випадку стандартна «біла асоціація» дає абсолютно однакові результати, оскільки тип зображення добре підходить для обчислення цими методами. Оскільки матеріал нерівномірний і містить різного роду включення, інші два варіанти методу кореляції не підходять і не можуть дати правильних результатів. Якщо шари на матеріалі мають різну форму або є симетричними що повторюються протягом усього зразка, значення  $D$  будуть однакові. Ми також створили таблицю коефіцієнтів кореляції для аналізованих методів (табл. 3). Кореляція (від лат. Correlation) - це статистична кореляція між величинами. Визначали математичне очікування добутку відхилень випадкових величин  $X$  і  $Y$  від їх середнього:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{n}$$

Значення  $\mu$  не є мірою кореляційного зв'язку, бо залежить від значень величин  $X$  та  $Y$ . Тому застосовують поняття коефіцієнту кореляції.

Коефіцієнтом кореляції називають відношення добутку моменту кореляції до квадратичного відхилення:

$$coef.cor. (r) = \frac{\mu}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

де  $X_i, Y_i$  – чисельні значення величин. Незалежні величини мають  $r = 0$ , для функціональних залежностей  $coef.cor. = \pm 1$ . У разі якщо ріст  $X$  зумовлює зростання  $Y$ , то  $coef.cor.$  – є додатнім, якщо знижує його значення – то  $coef.cor.$  – від'ємний.

Квадрат коефіцієнта кореляції є коефіцієнтом детермінації ( $r^2$ ). Він показує, наскільки загальна зміна атрибутів результату визначається досліджуваними

чинниками. Коли коефіцієнт детермінації виражено у відсотках, можна оцінити на скільки зміна (варіація) залежної змінної зумовлена зміною коефіцієнта. Коефіцієнт детермінації вказує, ступінь зміни залежної змінної (виходу)  $Y$  у разі зміни незалежної змінної (вхід)

$$X. r^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2},$$

де  $\hat{y}$  - значення змінної за побудованою регресійною моделлю;

$\bar{y}$  - загальне середнє значення величини залежної змінної;

$y_i$  – дійсні значення залежної змінної.

Діапазон значень коефіцієнта детермінації становить від 0 (немає лінійної залежності між показниками) до 1 (кореляції між показниками немає).

Застосування змінних  $X_i (i=1...m)$  в множинній регресії, а відповідно й ступінь свободи моделі призводить до зменшення коефіцієнта детермінації. Тому розрахунок моделі повинен бути скоригований для врахування ступенів свободи, залишків та сумарної дисперсії. Відкоригований коефіцієнт детермінації визначають за формулою:

$$R_{\text{скор}}^2 = 1 - \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_{\text{заг}}^2},$$

$$\text{де } S_{\text{зал}}^2 - \text{залишкова дисперсія } S_{\text{зал}}^2 = \frac{\sum (y - \hat{y}_x)^2}{n - m - 1};$$

$$S_{\text{заг}}^2 - \text{загальна дисперсія моделі } S_{\text{заг}}^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - 1}.$$

Підставивши залежності обчислення дисперсії у формулу скоригованого коефіцієнта детермінації  $R_{\text{скор}}^2$ , одержали вираз з урахуванням ступенів вільності:

$$R_{\text{скор}}^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y}_x)^2}{n - m - 1} \Big/ \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - 1}.$$

Відома формула, звязку коефіцієнту детермінації та скоригованого коефіцієнту детермінації:

$$R_{\text{скор}}^2 = 1 - (1 + R^2) \cdot \frac{n-1}{n-m-1},$$

де  $(n-m-1)$  та  $(n-1)$  – ступені вільності чисельника та знаменника залежності;  $n$  – кількість спостережень;  $m$  – кількість параметрів моделі;

Вірною є нерівність:

$$R_{\text{скор}}^2 \leq R^2$$

Відомо, що значення скоригованого коефіцієнту детермінації не перевищує одиниці:

$$R_{\text{скор}}^2 \leq 1$$

Значення коефіцієнта детермінації коливались від 0 до 1. Чим ближчою є відстань, тим більшою є зміна залежної змінної, що обумовлена зміною незалежної змінної [7].

Як ми бачимо, результати різні за різними методами, іноді дуже відрізняються. Причиною цього є те, що обраний метод не відповідає вихідному зображенню. Тому для кожного аналізованого зразка потрібно вибрати метод, який найкраще підходить нам, залежно від типу та структури (табл. 1). Модуль оцінки фрактальної розмірності дозволяє отримати емпіричні та оціночні криві, а потім чисельно оцінити відхилення.

У модулі обчислення на кожному кроці ітерації метод підсумовує кількість чорних пікселів, що є у вікні облікового запису. За переходу від однієї фази до іншої, вікно облікового запису буде збільшено. Таким чином можна штучно змінити рівень аналізу зображення.

Отже, ми маємо для кожного методу два змінних елемента відповідно до етапу обчислення (етапу ітерації)

-кількість перелічених елементів (відповідає кількості чорних пікселів у вікні) ( $N$ )

-розмір вікна рахунку або елемента довідки ( $\epsilon$ ).

Тоді ми отримуємо багато точок, які можна представити на декартовій діаграмі. Вісь Y відповідає кількості перелічених елементів (N), а вісь X відповідає розміру вікна обчислення або опорному елементу  $\varepsilon$  (рис. 3.11), який поступово зростає із збільшенням  $\varepsilon$  від кроку до кроку.

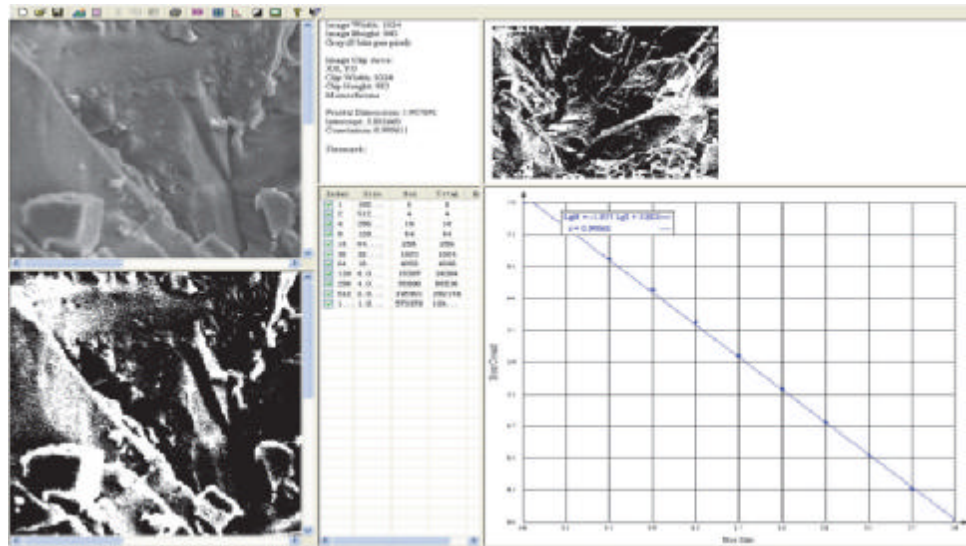


Рис. 3.11. Алгоритм модулю підрахунку фрактальної розмірності

Наступним кроком є порівняння цієї емпіричної кривої на іншій оціночній кривій. Якщо емпірична крива відповідає фрактальному закону, то крива дослідження відповідає за формою параболі або гіперболі то D являє фрактальну розмірність:

$$N = \varepsilon^D \text{ або } N = \varepsilon^{-D}$$

Порівнюючи характеристики методу, характеристики зображення можна зробити висновок, що найпростішим та найдієвішим є метод сіток. Розглядаючи особливості кожного методу обчислення фрактальної розмірності, було вибрано метод, який найкраще підходить для аналізу зображення.

Методи апроксимації експериментальних даних:

### *Нелінійна регресія*

У цьому методі ми можемо наблизити емпіричну криву чотирма різними рівняннями: фрактальним «законом»  $N(\varepsilon) = \varepsilon^D$  та трьома іншими рівняннями, які можуть вимірювати відхилення закону фрактальності:



$$N(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon^D$$

$$N(\varepsilon) = \varepsilon^D + c$$

$$N(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon^D + c$$

$D$  – фрактальна розмірність;

$C$  – відповідає початковій точці осі  $Y$  й називається "фактором форми". Це комплексний показник локального відхилення від обчисленого фрактального закону. Останнє рівняння використовують за замовчуванням.

Для того, щоб фрактальний аналіз був найкращим підходом, програмне забезпечення може бути оцінено за допомогою двох різних методів. Перший ґрунтується на використанні часткових похідних, водночас інший - на еволюційних стратегіях (тобто генетичних алгоритмах). У більшості випадків два способи дають абсолютно однакові результати.

За замовчуванням використовують метод часткового виведення. Однак можна використати обидва способи. Крім того важливо оцінити похибку обчислень. Стандартний метод найменших квадратів:  $f_{err} = (f_{emp} - f_{estim})^2$ , проте можна провести нормалізацію найменших квадратів:  $f_{err} = (f_{emp} - f_{estim})^2 / f_{emp}^2$ , та перевірити за способом "Нормалізованої оцінки".

### 1.1 Логарифмічна регресія (лінійна)

За цього способу криву піддають логарифмічному перетворенню, оскільки степеневий закон описують за лінійним рівнянням:

$$\log(N(\varepsilon)) = \log(\varepsilon^D) \rightarrow \log(N(\varepsilon)) = D \cdot \log(\varepsilon)$$

В програмі застосовують  $\log(N(\varepsilon)) = D \cdot \log(\varepsilon) + c$

Слід зазначити, що найкращий метод аналізу зображень - це не один метод, а кілька методів у різних частинах, оскільки структура об'єкта неоднакова і метод обстеження повинен бути різним. Слід підкреслити, що різні способи обчислення фрактальної розмірності зазвичай не дають однакового результату, особливо у разі, якщо об'єкт мультифрактальний.

Якщо знати принципи визначення цих коефіцієнтів та особливості методики визначення фрактальних розмірів, можна зробити висновки щодо цих методів і зрозуміти, чому результати різні.

Для обраного методу результати, отримані методом радіусів мас, відкидаються негайно, оскільки метод може аналізувати лише симетричні зображення, які не відповідають нашим варіантам. Метод ділатації спотворює оригінальне зображення та спрощує вихідні зображення, знижуючи точність та одержані дані. Підводячи підсумок, ми представили два методи розуміння математичних аспектів аналізу.

### Метод сіток

Методи на основі фракталів є глобальними методи, які були успішно застосовані для оцінки аттракторної розмірності (attractor dimension) основних динамічних система генерації часових рядів [8]. Розмірність Хаусдорфа  $D_H$  області  $\Omega$  визначається шляхом введення кількості:

$$\Gamma_H^d(r) = \inf_{s_i} \sum_i (r_i)^d \quad (3.1)$$

де область  $\Omega$  покрита клітинками  $s_i$  зі змінним діаметром  $r_i$ , всі діаметри задовольняють умову  $r_i < r$ .

Тобто, ми шукаємо ту множину покритих клітин  $s_i$  з діаметром меншим або рівним  $r$  що зводить до мінімуму суму (1) і позначимо найменшу суму  $\Gamma_H^d(r)$ .

$d$ - розмірність міри Хаусдорфа визначається як:

$$\Gamma_H^d = \lim_{r \rightarrow 0} \Gamma_H^d(r) \quad (3.2)$$

$d$ - розмірність міри Хаусдорфа узагальнює звичайне поняття загальної довжини, площі та об'єму простих множин. Хаусдорф довів, що  $\Gamma_H^d$  для будь-якої області  $\Omega$  прямує до  $+\infty$ , якщо  $d$  менша деякого критичного значення  $D_H$ ; і рівна 0, якщо  $d$  більша  $D_H$ . Критичне значення  $D_H$  називається розмірність Хаусдорфа для області. Оскільки розмірність Хаусдорфа є важкою для підрахунку, то її замінюють верхньою межею, що різниться тільки в деяких конструктивних прикладах: вимір Вох-рахунку (або ємність Колмогорова) [9].

Розмірність Вох-рахунку  $D_B$  області  $\Omega$  визначається наступним чином: якщо  $v(r)$  - кількість коробок розміру  $r$ , необхідних для заповнення області  $\Omega$ , тоді:

$$D_B = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln(v(r))}{\ln\left(\frac{1}{r}\right)} \quad (3.3)$$

Це можна показати, що якщо у визначенні розмірності Хаусдорфа клітини мають однаковий діаметр  $r$ , розмірність Хаусдорфа зводиться до розмірності Вох-рахунку.

Хоча ефективні алгоритми [10], [11], [12] були запропоновані, вимірювання Вох-рахунку може бути обчислена тільки для маломірних наборів, тому що алгоритмічна складність зростає експоненціально від заданої розмірності.

### Метод кореляції

Є альтернативою вимірюванню методом сіток може бути метод мір кореляції [13]. Завдяки простому порівнянню, величину "кореляції" успішно застосовують для оцінювання розмірів атракторів динамічних систем. Відповідні розміри визначають наступним чином: Якщо  $\Omega = x_1, x_2, \dots, x_N$  буде сукупністю точок  $\mathbb{R}^n$  з множини  $N$  то кореляційний інтеграл  $C_m(r)$  буде:

$$C_m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N I(\|x_j - x_i\| \leq r) \quad (3.4)$$

де  $I$  - індикаторна функція ( $I(\lambda)=1$ , якщо виконується стан  $\lambda$ , і дорівнює 0 у інших випадках), тоді кореляційна розмірність  $D$  області  $\Omega$  становить:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln(C_m(r))}{\ln(r)} \quad (3.5)$$

Актуальність значною мірою залежить від розміру шкали. Це тому, що обидва виміри є різними випадками узагальненого виміру Реньє. Тоді узагальнений інтеграл кореляції  $C_p$ :

$$C_p(r) = \frac{1}{N(N-1)^{p-1}} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j \neq i}^N I(\|x_j - x_i\| \leq r) \right)^{p-1} \quad (3.6)$$

Узагальнену розмірність Реньє  $D_p$  визначали як:

$$D_p = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{p-1} \frac{\ln(C_p(r))}{\ln(r)} \quad (3.7)$$

Можна довести, що розміри бальної шкали та кореляції є сумою [13]. Це також доводить, що "відповідний" вимір є нижньою межею шкали "поля". Через

шум при обчисленні фактичних даних різницю між двома вимірами можна ігнорувати. Відомі авторські коди обчислення фрактальної розмірності, наприклад «Лічильник фракталів Python» (<https://overcoder.net/q/1431628/>):

```
1 import numpy as np
2 import scipy
3
4 def rgb2gray(rgb):
5     r, g, b = rgb[:, :, 0], rgb[:, :, 1], rgb[:, :, 2]
6     gray = 0.2989 * r + 0.5870 * g + 0.1140 * b
7     return gray
8
9 def fractal_dimension(Z, threshold=0.9):
10     # Only for 2d image
11     assert(len(Z.shape) == 2)
12
13     # From https://github.com/rougier/numpy-100 (#87)
14     def boxcount(Z, k):
15         S = np.add.reduceat(
16             np.add.reduceat(Z, np.arange(0, Z.shape[0], k), axis=0),
17             np.arange(0, Z.shape[1], k), axis=1)
18
19         # We count non-empty (0) and non-full boxes (k*k)
20         return len(np.where((S > 0) & (S < k*k))[0])
21
22     # Transform Z into a binary array
23     Z = (Z < threshold)
24
25     # Minimal dimension of image
26     p = min(Z.shape)
27
28     # Greatest power of 2 less than or equal to p
29     n = 2**np.floor(np.log(p)/np.log(2))
30
31     # Extract the exponent
32     n = int(np.log(n)/np.log(2))
33
34     # Build successive box sizes (from 2**n down to 2**1)
35     sizes = 2**np.arange(n, 1, -1)
36
37     # Actual box counting with decreasing size
38     counts = []
39     for size in sizes:
40         counts.append(boxcount(Z, size))
41
42     # Fit the successive log(sizes) with log (counts)
43     coeffs = np.polyfit(np.log(sizes), np.log(counts), 1)
44     return -coeffs[0]
45
46 I = rgb2gray(scipy.misc.imread("24.jpg"))
47 print("Minkowski-Bouligand dimension (computed): ", fractal_dimension(I))
```

Описані методи дають правильні оцінки фрактального виміру, а відмінності в даних зумовлені шумом та помилками методів. Оскільки при обчисленні методом комірок обчислюють більше балів і, отже, виявляються більше шуму (у

методі кореляції можна розглядати кілька точок одночасно як один елемент обчислення), його похибка є більшою, проте сам метод є простішим.

Точність і спосіб оцінювання параметрів дефектів є важливими для цифрового діагностування. Фрактальну розмірність визначали з урахуванням обмеження станів [25]. Допустима фрактальної розмірності  $[D]$  за динамічного навантаження зварних швів виконаних роботизованим методом, притаманна проведенню випробування повинна, бути нижчою, за критичні значення  $D_{cr} = f(\sigma, T)$ :

$$[D] \leq \frac{D_{cr}}{n_1},$$

де  $n_1$  коефіцієнт запасу за фрактальністю

### **3.3. Визначення фрактальної розмірності і площі ділянок вязкого руйнування**

Злами аналізували на електронному скануючому мікроскопі РЕМ-106І, який є стаціонарною автоматизованою багатофункціональною вимірювальною системою.

Мікроскоп забезпечував роботу як у режимах реєстрації вторинних електронів (тільки за високому вакуумі в камері об'єктів), і у режимі реєстрації відбитих електронів, і навіть дозволяють визначати елементний склад об'єкта у режимі реєстрації його характеристичного рентгенівського випромінювання.

Принцип отримання зображення в РЕМ-106І полягає в модуляції яскравості монітора відеоконтрольного пристрою сигналами, пропорційними кількості зареєстрованих вторинних електронів, при скануванні сфокусованого електронного зонда по поверхні об'єкта. Відношення розміру зображення на моніторі до розміру растру на зразку визначає збільшення мікроскопа.

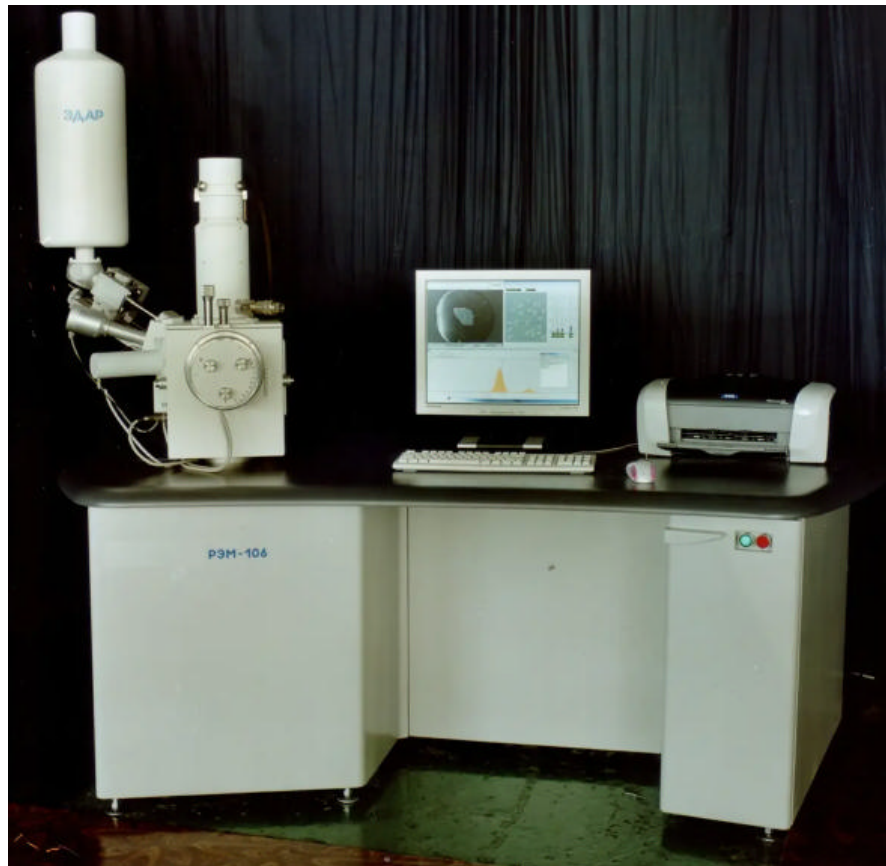


Рис. 3.12. Електронний скануючий мікроскоп PEM 106-И, фото взято з сайту: (<https://akademprigor.prom.ua/p4102045-rastrovyj-elektronnyj-mikroskop.html>)

*Основні особливості технічні характеристики:*

- рівень роздільної здатності в режимі вакууму високого рівня становить 4 нм;
- рівень роздільної здатності в режимі вакууму низького рівня становить 6 нм;
- значення максимального розміру зображення на рівні 1280x960 пікселів;
- параметри діапазонів регулювання тиску всередині камери від 1 Па до 270 Па;
- параметри діапазонів напруги прискорюючого виду від 0,5 кВ до 30 кВ;
- параметри діапазонів збільшення від 15 до 300000x;
- максимально допустимі розміри об'єктів до 50 мм;
- часовий проміжок, що витрачається на зміну зразків, становить 5 хв;
- параметри діапазону виміру розмірів лінійного характеру - від 0,2 до 5000  $\mu\text{м}$ ;
- напруга електроживлення 220, одна фаза;
- струмова частота 50-60 Гц;
- рівень споживаної потужності 2,5 кВА;

-габарити мікроскопу становлять: довжина 1050 мм; ширина 2100 мм; висота 1850 мм;

-вага приладу - 685 кг.

З використанням раніше розробленого алгоритму оптико-цифрового аналізу зламів матеріалів, встановлено кількість, виміряно та обчислено параметри поверхні в'язкого відриву сформованих на поверхні руйнування заврного шва. Визначено значення фрактальності зламів для досліджених схем навантажування зразків. Фрактографічне зображення ямок в'язкого відриву, отримане під мікроскопом піддавали бінаризації.

Процес бінаризації - це перетворення кольорового (або в градаціях сірого) зображення в двокольорове чорно-біле. Головним параметром такого перетворення є поріг  $t$  - значення, з яким порівнюється яскравість кожного пікселя. За результатами порівняння, пікселю присвоюється значення 0 або 1.

Головна мета бінаризації - це радикальне зменшення кількості інформації, з якою доводиться працювати. Простіше кажучи, вдала бінаризація сильно спрощує подальшу роботу з зображенням. З іншого боку, невдачі в процесі бінаризації можуть привести до спотворень, таких як розриви в лініях, втрата значущих деталей, порушення цілісності об'єктів, поява шуму і непередбачуване спотворення символів через неоднорідність фону.

Інтенсивність — це насиченість певного тону, тобто ступінь візуальної відмінності хроматичного кольору від рівного по світлості ахроматичного (сірого) кольору. Насичений колір можна назвати соковитим, глибоким, менш насичений — приглушеним, наближеним до сірого. У цифрових технологіях цей параметр кодується за допомогою 8 бітів  $i$ , таким чином, може приймати 256 значень — від 0 до 255.

По цьому зображенню ми провели бінаризацію, змінюючи його інтенсивність у межах від 75 до 115, оскільки в цьому діапазоні найкраще відображався розподіл чорних поверхонь по зображенню. Крок «5» зміни інтенсивності є найоптимальнішим, тому що більший крок призвів б до

відсутності інформативності, а менший до незначних змін площі чорних поверхонь у зображеннях різної інтенсивності.

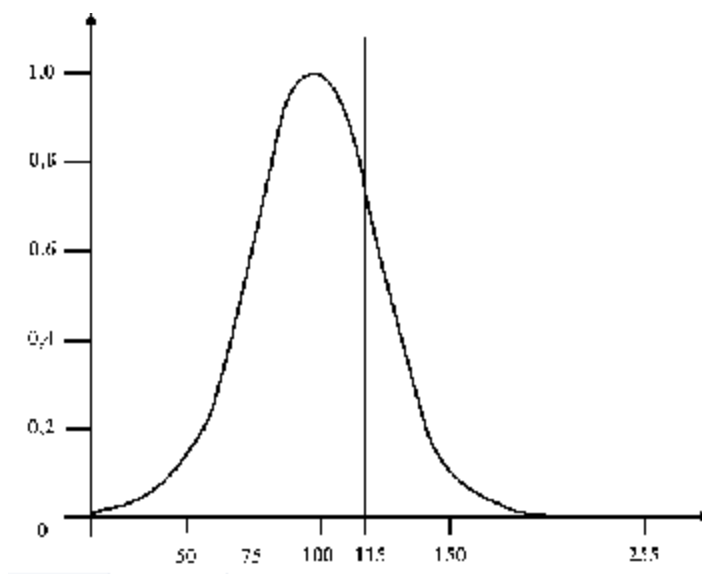
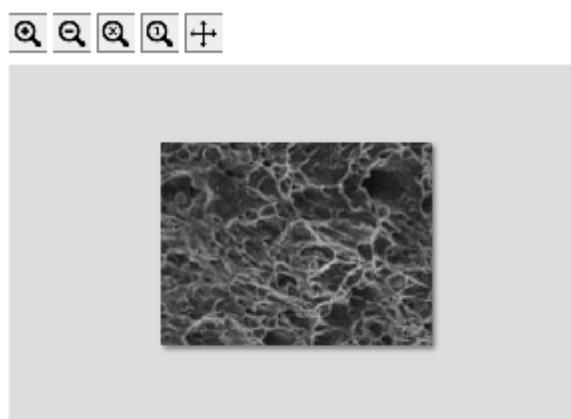
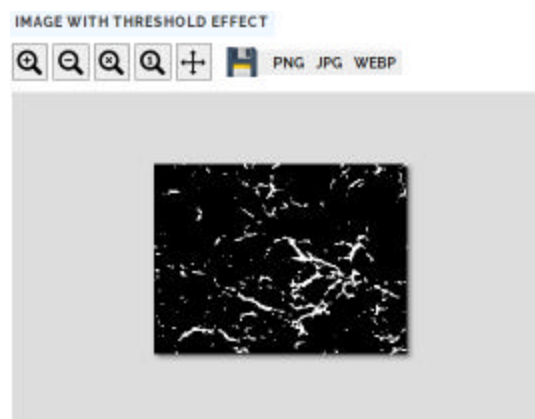


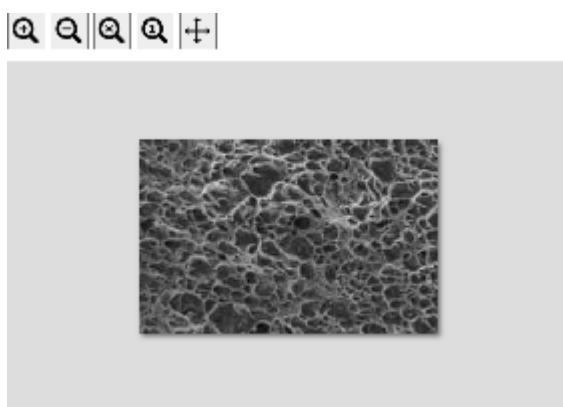
Рис. 3.13. Графік інтенсивності аналізованих зображень.



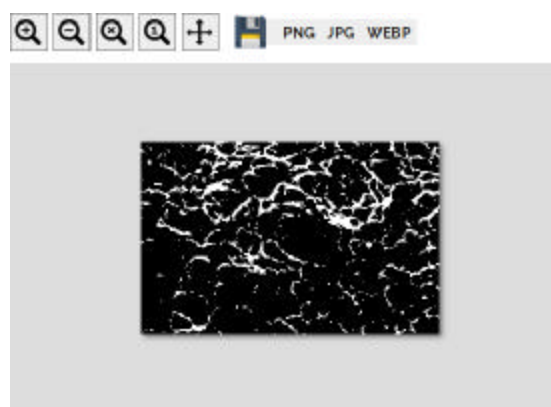
а



б



в



г



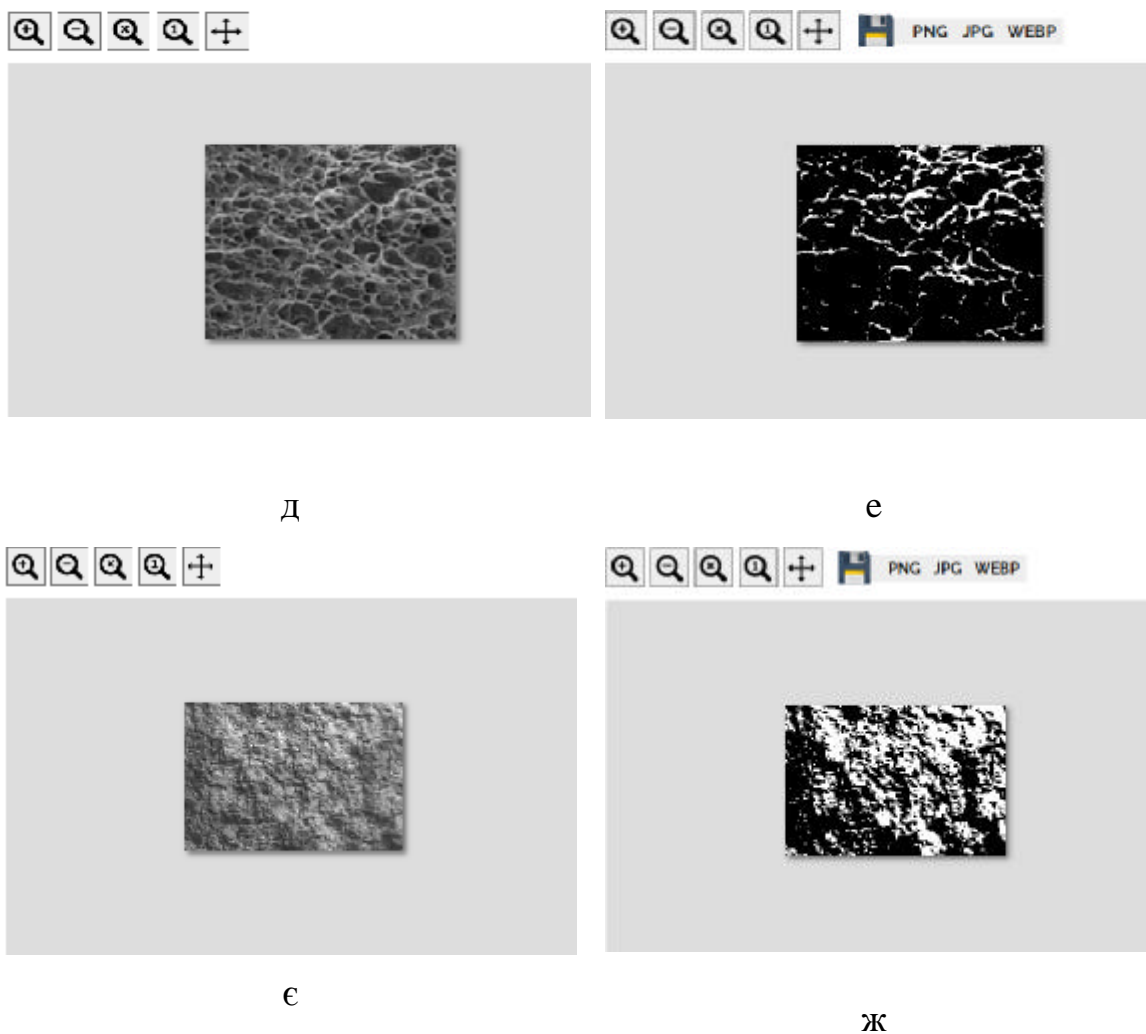


Рис. 3.14. Бінаризовані фотозображення поверхонь руйнування для зварних швів виконаних роботизованим способом (x300) а-є– ямковий злам; є,ж – крихкий злам

У металах, розподіл ямок в'язкого відриву просторі ніколи не рівномірний через відмінності в структурі металу. Міцність і густина, наприклад. Проте, це фрагментований розподіл в межах певного простору не є чисто випадковим, так як фрактальні об'єкти побудовані за принципом центральної організації, самоподібної по всіх просторових масштабах, яка є властивістю особливо корисною для дослідження. Розповзання моделі, як правило, показує досить неправильну форму, тому необхідно знайти декілька відповідних підходів для опису цієї моделі, за допомогою фрактального дослідження і просторової автокореляції.

Фрактал — нерегулярна, самоподібна структура. В широкому розумінні фрактал означає фігуру, малі частини якої в довільному збільшенні є подібними до неї самої.

Фрактальні властивості можуть бути пов'язані з деякими важливими особливостями металічної структури: самоподібність в кластеризації і фрагментація просторових структур в різних масштабах, ієрархія, звивистості меж, і нелінійна динаміка. Таким чином, деякі аспекти дослідження міцності металу знаходяться в повній згоді з фрактальним описом металу і фрактал, як правило, цілком підходить для опису структурних моделей металу.

Фрактальна геометрія стала популярною завдяки роботі математика Мандельброта. Фрактальні заходи вимірювання є хорошим інструментом для глобального порівняння структури металу. У цьому розділі ми дамо більш детальну інформацію про фрактали через опис того, як визначити фрактальну розмірність та площу пошкоджень металу. Методи підрахунку фрактальної розмірності були реалізовані за допомогою програмного забезпечення Fractalysе.

Фрактальна розмірність ( $D$ ) — поняття фрактальної геометрії, що означає статистичну величину, яка говорить про те наскільки повно фрактал заповнює простір, коли збільшувати його до дрібніших деталей.

Fractalysе реалізує різні методи підрахунку для вимірювання фрактальної розмірності, яка відповідає різним розмірам:

1. Grid method.
2. Radius mass method.
3. Dilation method.
4. Correlation method.
5. Gaussian convolution method.
6. Box-counting method.

Процес вимірювання розділений на дві частини:

- метод підрахунку;
- модуль оцінки.

Перевага цього методу в тому, що він простий і адаптується до багатьох ситуацій. Якщо ви можете утримувати об'єкт в межах квадратів або коробки, то ви можете виконати статистичний аналіз, щоб визначити його фізичний вимір. Ви можете використовувати цей метод для розрахунку розмірів для дуже невеликого об'єкта, як пил Кантора або для дуже великого об'єкта, як гірський хребет. В свою чергу недоліком є те, що він дає велику похибку аналізу.

Метод підрахунку площі чорних поверхонь реалізований за допомогою раніше розробленого алгоритму. Підрахунок відбувається крок за кроком за принципом ітерації. У кожному ітераційному кроці, метод включає в себе підрахунок площі чорних поверхонь, яка подавалась у відсотках від всієї площі зображення. Таким чином для цього методу є два елементи, які змінювались залежно від підрахунку:

1. Інтенсивність.
2.  $F$  - площа чорних поверхонь у «%».

Зі зміною інтенсивності від 75 до 115 площа чорних поверхонь збільшувалась лінійно все більше і більше від 34% до 68%. Зі збільшенням інтенсивності ріст площі чорних поверхонь не сповільнювався.

За цими даними побудували графік залежності середнього діаметра від інтенсивності. На графіку бачимо, що зі збільшенням інтенсивності в межах від 75 до 105 фрактальність зростає, після чого відбувається спад. Це пояснюється тим, що при інтенсивності бінаризованого зображення вище 105 відбувається «об'єднання» чорних поверхонь, що робить неможливим точного визначення реальної фрактальності поверхні шварного шва. Можна зробити висновок, що алгоритм дає найбільш коректні результати в діапазоні від 75 до 105.

Результати досліджень також показали, що при аналізі поверхонь руйнування зварних швів, метод сіток має достатню чутливість, є простим й його у подальшому було використано для дослідження і побудови математичних моделей структур зламів зварних швів виконаних роботизованим методом.

Нерівноважне і хаотичне (саморганізоване) динамічне руйнування зварних швів виконаних роботизованим методом формує на поверхні зламу об'єкти з

неправильною, нерегулярною формою, що мають фрактальні властивості. Так термодинамічно нерівноважний процес руйнування породжує т.з. сколювання та зумовлює їх самоорганізацію.

Сучасний кількісний опис мікромеханізмів руйнування базується на візуальному оцінюванні поверхні зламу, з подальшим підрахунком характеристик таких площа сколів, наявність вязкого руйнування і т.д., при чому абсолютно не враховується а ні їх самоподібність, ані їх іррегулярність та хаотичність.

Розвинуто пасивний фрактодіагностичного контролю сталевих конструкцій, навантажених безперервно зростаючими або спадними в часу силами, під дією яких у потенційно небезпечних зонах елементів функціонують внутрішні деформаційні процеси. Ці методи дозволяють зі кількісним аналізом поверхні руйнування зон локалізації руйнування здійснювати контроль працездатності, зародження та розвитку тріщин. Місця їх виникнення та кінетика розвитку залежать від умов силового навантаження, зовнішніх температурних впливів, матеріалу та конструктивної форми об'єкту дослідження.

Застосування фрактальної розмірності  $D$  для опису структури металевих матеріалу дозволило значно підвищити як якість, так і оперативність аналізу, так одержано закономірності руйнування.

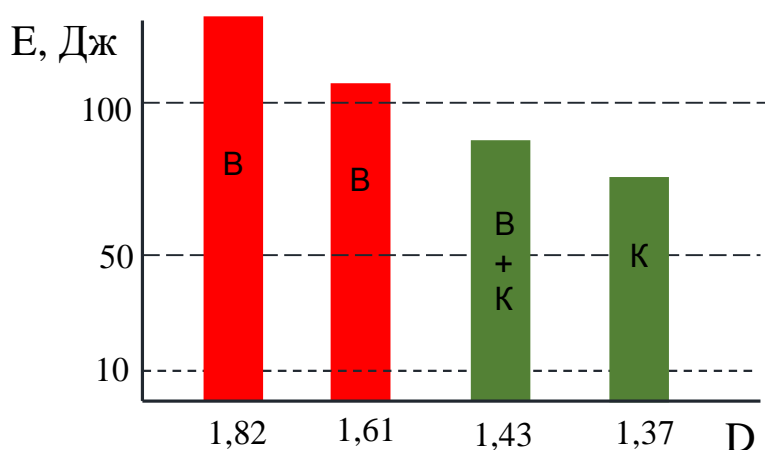


Рис. 3.15. Фрактальна розмірність поверхні руйнування зварного шва виконаного у роботизований спосіб

Далі за алгоритмом *Box counting* оцінювали фрактальну розмірність мікротекстури зламу епоксикомпозитних зразків. Дані отримані за допомогою

методу аналізу оптико-цифрових зображень вказують на монотонно зростаючий характер залежностей  $E$  і фрактальної розмірності  $D$ . Це дозволяє говорити про можливість створення методик оцінювання (фрактодіагностування) механізмів руйнування зварних швів виконаних роботизованим методом по зображенню його поверхні зламу.

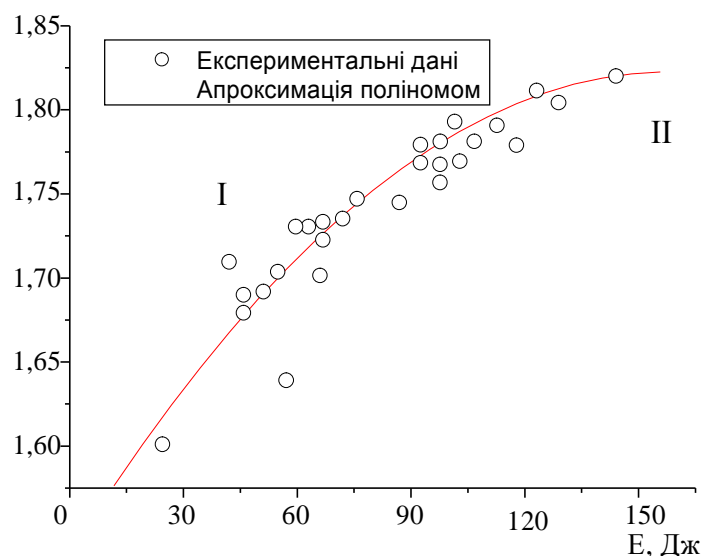


Рис. 3.16. Взаємозв'язок  $D$  поверхні зламу зварного шва виконаного роботизованим способом з енергією ударного руйнування зразків: I – межа крихкого руйнування; II – в'язке руйнування.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень забезпечили поглиблення розуміння природи руйнування зварних з'єднань, виконаних роботизованим методом. Експериментальні дослідження авторів показали, що осередки руйнування у розтягнутих сталевих елементах виникають у смугах зсуву, що розвиваються на околі дефектів. В граничній стадії роботи зварного шва істотну роль відіграють процеси деформаційного макроструктурування матеріалу, утворення дефектів у зонах передпошкодження. У бакалаврській роботі отримано раніше невідомі експериментальні дані з розвитку руйнування в розтягнутих сталевих елементах з конструктивно-технологічними дефектами (якими з фізичної точки зору можна наближеного вважати зону зварного шва) та викладено новий підхід до визначення їх мікромеханізмів руйнування. Розвинуто автоматизований метод дослідження зародження та розвитку руйнування зварного шва виконаного роботизованим способом.

Таким чином, розроблений в даному підрозділі підхід дозволяє по вхідному зображенню поверхні руйнування шварного шва, обчислюючи його фрактальну розмірність  $D$ , визначати технологічно важливі геометричні параметри покриття. Зростання ступіня “неоднорідності” або грубості (roughness) поверхні зламу шварного шва розглядалося, як запорука його вищих властивостей при випробуванням на удар.

Провівши автоматизований аналіз зображень зламів зварних швів виконаних роботизованим методом і проаналізувавши отримані дані встановлено, що фрактальна розмірність є інтегральним параметром механізмів руйнування матеріалів.

Попередні етапи обробки зображення спричиняють значний вплив на кінцевий результат та похибку обчислень. Величина похибки також залежить від методу аналізу та фізичної природи аналізованої поверхні.

Умовно наш графік був розбитий на дві ділянки: на I ділянці вказані межі коректної роботи нашого алгоритму. На II за рахунок «об'єднання» ямок алгоритм працює з похибкою.

Фрактальна розмірність дозволила описати просторові структури поверхні руйнування. Значення  $D$  повинне бути в діапазоні 0.0-2.0, при  $D < 1,0$  вважається що елемент не містить окремих елементів (розривів). При  $1,0 < D_{CR} < 2,0$ , зображення складається зі змішаних елементів і містить великі і малі кластери з окремими ізольованими елементами.

## 4.ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів

В оновленій редакції стандарту ANSI-RIA (R15.06-2012), аналога стандартів ISO 10218-1 («Роботи») та ISO 10218-2 («Системи роботів та їх інтеграція») передбачені досконаліші вбудовані заходи безпеки для роботів, недоступних людині під час роботи, та кооперативних роботів, призначених для роботи в одній зоні з людьми.

Серед іншого діяльність ISO зі стандартизації в галузі безпеки роботів включає розробку технічної специфікації (TS) 15066, присвяченої кооперативним роботам, - зокрема, обмеження зусилля і потужності, що розвиваються. У компаній Rethink Robotics та Universal Robots вже є роботи з датчиками, які зупиняють рух при виявленні перешкод.

У зв'язку з конструктивними особливостями ПР (автоматичність дій, одночасний рух навколо кількох осей та високі швидкості переміщення виконавчих пристроїв, велика зона обслуговування, органічний взаємозв'язок з роботою технологічного обладнання) при їх роботі можливий вплив на працюючих небезпечних виробничих факторів рухомих частин ПР (виконавчих пристроїв) та пересувних виробів, заготовок, інструментів, матеріалів.

Як показав аналіз, найбільш небезпечним для персоналу є потрапляння в робочий простір автоматично працюючого ПР, що призводить до зіткнення робота і людини, а також неправильні рухи виконавчих пристроїв ПР під час програмування, навчання, регулювання, налагодження та інших видів ручних робіт.

На підставі аналізу та узагальнення досвіду проектних, науково-дослідних організацій та промислових підприємств щодо вирішення комплексу питань забезпечення безпеки при проектуванні, впровадженні та експлуатації ПР розроблено вимоги безпеки до конструкції ПР, організації та експлуатації РТК-Однією з вимог є захисне виконання ПР, призначених для експлуатації в умовах

підвищеної запиленості та температури повітря, наявності вибухо- та пожежонебезпечних сумішей.

Захватний пристрій ПР повинен забезпечувати утримання об'єктів маніпулювання при раптовому відключенні живлення та аварійному зупиненні. ПР повинні оснащуватися засобами захисту (огороджувальні, запобіжні, блокуючі, сигналізуючі та інші), що виключають можливість на обслуговуючий персонал небезпечних виробничих факторів при роботі в режимах навчання і виконання програми.

Розміщення технологічного обладнання та ПР на РТК або ділянках має забезпечувати вільний, зручний та безпечний доступ до них обслуговуючого персоналу.

Огороджувальні пристрої (світлозахист, ультразвуковий захист, стаціонарні огорожі та ін.) повинні унеможливити випадкове потрапляння людини в небезпечну зону. Вхід у зону огорожі має бути блокований із системою управління. Блокувальні пристрої повинні забезпечувати зупинку ПР при вході людини до цієї зони.

Розроблено вимоги щодо організації робочих місць операторів. Найбільш раціональним визнано розміщення постів управління у закритих кабінах, де можуть бути створені оптимальні санітарно-гігієнічні умови праці. Поряд з використанням технічних засобів забезпечення безпеки при експлуатації ПР та РТК повинні також застосовуватися безпечні прийоми та методи проведення робіт та суворо дотримуватися регламентованого режиму експлуатації ПР та іншого технологічного обладнання. Зокрема, має бути заборонено виконання ремонтних робіт, пов'язаних з обслуговуванням ПР, а також робіт із приєднання та від'єднання хватного пристрою без відключення живлення ПР.

При розробці засобів захисту ПР, осіб та обслуговуючого персоналу повинні враховуватися специфічні властивості ПР, пов'язані з особливостями конструкції, виконуваних функцій, динаміки та алгоритмів керування переміщенням робочих органів.



Засоби захисту повинні бути розроблені з урахуванням необхідності знаходження обслуговуючого персоналу в робочому просторі ПР при його включенні, програмуванні, контролі та обслуговуванні, при цьому має бути врахована можливість виникнення небезпечної ситуації, пов'язаної з неузгодженістю роботи ПР та пов'язаного з ним обладнання.

Спосіб захисту осіб та обслуговуючого персоналу має бути обраний з урахуванням аналізу конструкції ПР, методів його програмування та обслуговування. Перед вибором способу захисту мають бути визначені шкідливі виробничі фактори та оцінено ризик (ступінь ризику) виникнення небезпечної ситуації.

Забезпечення безпеки осіб та обслуговуючого персоналу має ґрунтуватися на наступних принципах:

- під час виробничого процесу не допускається знаходження осіб та обслуговуючого персоналу у робочому просторі;

- під час програмування, контролю, обслуговування та в інших випадках, що вимагають знаходження обслуговуючого персоналу в робочому просторі ПР, ймовірність виникнення небезпечної ситуації має бути мінімальною.

Для забезпечення виконання цих принципів можуть бути реалізовані такі заходи:

- обмеження робочого простору за допомогою фізичних бар'єрів, захисних огорож, у тому числі із блокуваннями, а також використання пристроїв виявлення;

- організація робочих місць обслуговуючого персоналу таким чином, щоб усі роботи з налагодження та обслуговування ПР проводилися поза робочим простором;

- впровадження додаткових заходів захисту обслуговуючого персоналу, розроблених залежно від конструктивних особливостей ПР і необхідні забезпечення безпеки у разі, коли перебування обслуговуючого персоналу у робочому просторі може бути повністю виключено.

*Порядок оцінки безпеки ПР*

Оцінка безпеки ПР при розробці, контролі та випробуваннях повинна передбачати:

- визначення необхідності доступу обслуговуючого персоналу в робочий простір для програмування, обслуговування або контролю за роботою ПР;

- визначення шкідливих виробничих факторів та джерел їх виникнення при роботі ПР на будь-якому з передбачених режимів роботи, а також при виникненні несправностей та при можливих помилках обслуговуючого персоналу;

- оцінку ступенів ризику виникнення різноманітних небезпечних ситуацій;

- вибір основних методів захисту при розробці пр та оцінку правильності цього вибору при контролі;

- проведення комплексної оцінки безпеки пр та прийняття рішення про достатність застосованих засобів захисту для забезпечення мінімального ризику для осіб та обслуговуючого персоналу.

Основними джерелами небезпечних ситуацій можуть бути самі ПР, неузгодженість роботи ПР та сполученого обладнання, помилки обслуговуючого персоналу. Прикладами джерел небезпечних ситуацій є:

- а) несправність або пошкодження:

- захисних засобів (наприклад захисних огорож, ланцюгів блокувань тощо),

- джерел живлення або розподільних пристроїв,

- систем управління ПР, датчиків чи інших пристроїв, що забезпечують безпечну роботу;

- б) рухомі елементи ПР, що становлять механічну небезпеку як самостійно, і при взаємодії з елементами сполученого устаткування;

- в) накопичена енергія рухомих елементів, електричних зарядів, гідравлічних чи пневматичних систем ПР;

- г) електричні, гідравлічні чи пневматичні джерела живлення;

- д) шкідливі виробничі фактори, пов'язані з технологічним процесом, що обслуговує ПР:

- робота з вибухонебезпечними чи горючими матеріалами,

- робота в агресивному або корозивному середовищі,
  - робота з радіоактивними матеріалами,
  - робота в умовах високих чи низьких температур;
  - акустичний шум, що створюється ПР або сполученим обладнанням;
- ж) індустриальні радіо- та електростатичні перешкоди, а також перешкоди, що спричиняються вібрацією або ударом;
- і) суб'єктивні помилки обслуговуючого персоналу:
- 1) пов'язані з порушеннями вимог ергономіки при розробці конструкції та системи управління ПР,
  - 2) пов'язані з недостатністю освітлення або підвищеним шумом на робочому місці оператора,
  - 3) при контролі, проведенні функціональних випробувань, під час експлуатації, при програмуванні та перевірці правильності виконання програми, обслуговуванні, у тому числі при зміні робочих органів, а також при пошуку несправностей та ремонті;
- к) роботи, пов'язані з демонтажем чи модернізацією ПР.

При проведенні комплексу робіт при виготовленні харчового баку необхідно розробити ряд заходів по нормальному безпечному виконанню всього об'єму будівельно-монтажних робіт. Під нормальним безпечним виконанням робіт розуміють такі роботи, що виключають різного роду виробничі фактори, які шкідливо впливають на здоров'я людини, а також можуть призвести до травм та різного роду нещасних випадків [19]. Для встановлення можливих причин виникнення шкідливих факторів проводять аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів. Основні з яких наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Джерела небезпек	Характеристика потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів та їх допустимі значення
------------------	--

<p>Транспортні та навантажувально-розвантажувальні роботи</p>	<p>Знаходження працюючих в зоні дії стріл розвантажуючих машин, а також під вантажем, що розвантажується.</p> <p>Обрив тросів внаслідок невірної стропування або малого запасу міцності і перевантаження.</p> <p>Перевантаження розвантажувальних засобів.</p> <p>(Гранична норма перенесення вантажів чоловіками старшими 18 років становить 50 кг).</p>
<p>Продовження таблиці 7.4</p>	
<p>Зварювальні роботи</p>	<p>Попадання металевої стружки в органи зору при виконанні робіт по підготовці стиків із застосуванням шліфувально-ріжучого інструмента. Ураження електричним струмом (<math>I = 300 \text{ A}</math>; <math>U = 380 \text{ В}</math>; <math>f = 50 \text{ Гц}</math>)</p> <p>Ушкодження органів зору світловим випромінюванням зварювальної дуги, а також пошкодження органів шкіри (опіки).</p>
<p>Монтажні роботи</p>	<p>Обрив тросів монтажних захватів. Перевертання техніки.</p>
<p>Контроль якості зварних з'єднань</p>	<p>Ураження ультразвуком</p> <p>(Рівні звукового тиску в межах 80 – 105 дБ; віброшвидкість <math>1,6 - 10^{-2} \text{ м/с}</math>; інтенсивність <math>0.1 \text{ Вт/см}^2</math>)</p>

При виконанні робіт у механічному цеху зустрічається ряд речовин з якими приходиться мати справу працюючими. Основні з них наведені в таблиці 7.5. Наведений перелік токсичних і шкідливих речовин, які використовуються на підприємстві, із зазначенням величин гранично допустимих концентрацій в повітрі робочої зони, характеру їх шкідливої дії на організм людини та виду першої допомоги при отруєнні ними (ГОСТ 77. 12.1.007-76 ССБТ).

## 4.2. Пожежна безпека

Забезпечуючи пожежну безпеку слід керуватися нормами технічного проектування, будівельними нормативами, правилами експлуатації установок і іншими нормативними актами виходячи із сфери їх дії, які регламентують вимоги пожежної безпеки (ДБН В.1.1.7–2002).

У таблиці 4.2 приведенні характеристики пожежо- небезпечних речовин, що використовуються при виготовленні зварного двотавра.

Таблиця 4.12. Пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, які використовуються на виробництві

Назва речовини	Температура, °С			Границі заpalення (концентраційний об'єм, %)		Засоби тушіння
	Спалаху	Самозаймання	Займання	Верхня межа	Нижня межа	
Бензин	-34	300	-4	5,16	0,79	Піна, вуглекислота
Дизпаливо	48	240	69	6,8	1,8	Піна, вуглекислота
Газ	310	537	325	6,2	1,1	Піна, вуглекислота
Пропан	-	405	-	9,2	2,0	Вуглекислота
Бутан	-	466		8,7	2,0	Вуглекислота
Ацетилен	295	335	305	8.1	2,5	Вуглекислота

Безпосередньо монтажні і будівельні роботи на території зварювальних майданчиків, пов'язані з застосуванням вогню (зварювання, різання), проводяться під керівництвом відповідальної особи за письмовим дозволом технічного керівника (головного інженера) підприємства та узгодженням з пожежною охороною. Вогневі роботи можна виконувати лише за дотриманням усіх вимог пожежної профілактики, що обумовлені в дозволі. Зварювальник має право приступити до виконання робіт тільки після одержання письмового дозволу і особистої перевірки виконання вимог, вказаних у дозволі.

При виконанні зварювальних робіт обладнання повинно бути заземленим, для чого використовують електрокабель такого ж перерізу, як і основний.

На майданчиках, де встановлене обладнання для зварювання, необхідно дотримуватись наступних заходів пожежної безпеки:

- повне виключення можливості проникнення рідких і пароподібних нафтопродуктів;
- очищення території від сміття, горючих предметів;
- прибирання сухої трави в радіусі 5 м від місця проведення вогневих робіт;
- захист листами заліза або азбесту усіх дерев'яних листів і підмостків від попадання іскри.

Використовування системи пожежогасіння дозволяє ліквідувати пожежу, не дивлячись на наявність закритих зверху ділянок поверхні горіння. Піна здатна обтікати затонулі конструкції і розтікатися по всій поверхні горючої рідини. Класифікація виробничих приміщень за вибухо- та пожежонебезпекою і електробезпекою наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Класифікація виробничих приміщень за вибухо- та пожежонебезпекою і електробезпекою

Назва приміщень, дільниць	Категорія виробництва і приміщень за вибухо- та пожежонебезпекою	Клас приміщень за пожежонебезпекою	Характеристика приміщень за ступенем електро-небезпеки	Категорія вибухо-небезпечної суміші	Гупа вибухо-небезпечної суміші	Умовне позначення електрообладнання
Розвантажувальна дільниця	В	В-Ia	2 клас з підвищеною небезпекою	IIa	T <sub>3</sub>	—
Зварювальна дільниця	В	В-IIa	2 клас з підвищеною небезпекою	IIa	T <sub>3</sub>	—

Продовження таблиці 4.3.

Назва приміщень, дільниць	Категорія виробництва і приміщень за вибухо- та пожежо-небезпекою	Клас приміщень за пожежо-небезпекою	Характеристика приміщень за ступенем електро-небезпеки	Категорія вибухо-небезпечної суміші	Гула вибухо-небезпечної суміші	Умовне позначення електро-обладнання
Монтажна дільниця	В	В-Іа	2 клас з підвищеною небезпекою	Іа	T <sub>4</sub>	ПСГ-500
Адміністративний будинок	Д	В-Іа	1 клас з підвищеною небезпекою	Іа	T <sub>3</sub>	–

До комплексу заходів з пожежного захисту входять питання застосування первинних засобів пожежогасіння. В таблиці 4.4. приведені ці засоби.

Таблиця 4.4. Первинні засоби пожежогасіння

Споруди, приміщення, установи	Категорія	Площа, яка захищаються, м <sup>2</sup>	Первинні засоби пожежогасіння			
			Вуглекислотний вогнегасник	Пінний, хімічний, повітряно-пінний вогнегасник	Ящик з піском	Войлок, кошма
Розвантажувальна дільниця	В	300	ОУ-2 або ОУ-5 1шт, ОУ-25 1шт.	СХП-10 1шт або ОВП-10 1 шт	2 шт	-
Зварювальна дільниця	В	1800	ОУ-8 5 шт.	СХП-10 2 шт.	4 шт	2×2 м, 1 шт
Монтажна дільниця	В	440	ОУ-2 або ОУ-5 1шт, ОУ-25 1шт.	СХП-10 1шт або ОВП-10 1 шт	2 шт	-
Адміністративний будинок	А	120	ОУ-8 ОУ 1 шт.	ОХП-10 1 шт.	1 шт	-

### 4.3. Охорона навколишнього середовища

Велике соціальне та народно-господарче значення при виготовленні різного роду зварних конструкцій, також має проблема охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів. Від вирішення

задачі охорони довкілля залежить збереження природного середовища (флори та фауни) та подальша надійна експлуатація зварних конструкцій.

Під навколишнім середовищем розуміють цілісну систему взаємопов'язаних природних і антропогенних об'єктів і явищ, під впливом і при безпосередньому використанні яких відбувається праця, побутова діяльність, відпочинок людей. Поняття «навколишнє середовище» включає соціальні, природні і штучно створені фізичні, хімічні та біологічні фактори, тобто все те, що впливає на життя і діяльність людини. Складовою частиною навколишнього середовища є природне середовище. Перед сучасним суспільством стоїть завдання не тільки зберегти природу, а й запобігти негативним наслідкам господарської діяльності людини в майбутньому.

Для якісного рішення проблеми навколишнього середовища проведення лише інженерно-технічних дослідів недостатньо. Тільки на основі комплексного підходу до рішення цієї задачі можна досягнути бажаних результатів, тобто забезпечити збереження навколишнього середовища в процесі спорудження та ремонту зварних конструкцій. У відповідності із багаточисельністю видів впливів на об'єкти навколишнього середовища та різноманітністю останніх, комплекс повинен включати біологічні, екологічні, економічні та інженерно-технічні дослідів.

З врахуванням викладеного, комплекс дослідів по охороні навколишнього середовища при виготовленні та експлуатації зварних конструкцій повинен включати [21]:

- класифікацію компонентів навколишнього середовища;
- класифікацію впливів на навколишнє середовище та їх наслідків;
- аналіз наслідків різних порушень та забруднень на компоненти навколишнього середовища;
- аналіз конструктивних та технологічних рішень, що поменшують впливи на навколишнє середовище.

Таким чином, рішення проблеми охорони навколишнього середовища заключається в визначенні сукупності заходів, методів та засобів, які



мінімізують, в тому числі виключають повністю, можливі впливи та їх наслідки в процесі будівництва.

Таблиця 4.5 Характеристика викидів в атмосферу шкідливих речовин

Джерело викиду	Найменування шкідливих речовин	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Характеристика джерела викиду		Об'єм газоповітряної суміші на виході з джерела м <sup>3</sup> /с	Концентрація в газоповітряній суміші на виході з джерела
			висота, м	діаметр м		
Автотранспорт	Пари вуглеводнів NO <sub>2</sub> NO CO	5 0,085 0,4 5	2	0,07	0,045	70 60 12 1200
Зварювальні роботи	Оксид марганцю NO <sub>2</sub> NO CO Аерозолі Fe Аерозолі Mn	0,01 0,085 0,4 5 1,0 0,3	14	1,2	0,045	0,02 0,3 3 40 50 5

Основні вимоги до охорони навколишнього середовища представлені в нормативному документі ГОСТ 102-105-85.

Стандарти комплексу ГОСТ Р 60 являють собою сукупність стандартів, що окремо видаються. Стандарти даного комплексу відносяться до однієї з наступних тематичних груп: "Загальні положення, основні поняття, терміни та визначення", "Технічні та експлуатаційні характеристики", "Безпека", "Види та методи випробувань", "Механічні інтерфейси", "Електричні інтерфейси", "Комунікаційні інтерфейси", "Методи програмування", "Методи побудови траєкторії руху (навігація)", "Конструктивні елементи". Стандарти будь-якої тематичної групи можуть відноситися як до всіх робіт і робототехнічних пристроїв, так і до окремих груп об'єктів стандартизації - промислових робіт в цілому, промислових

маніпуляційних робіт, промислових транспортних робіт, сервісних робіт в цілому, сервісних маніпуляційних робот і сервісних мобільних робот.

Цей стандарт відноситься до тематичної групи "Безпека" і поширюється на наземні сервісні роботи. Він ідентичний міжнародному стандарту ISO 13482:2014, розробленому підкомітетом (SC) 2 "Роботи та робототехнічні пристрої" Технічного комітету (TC) 184 ISO "Системи автоматизації та їх інтеграція". З 1 січня 2016 року ISO/TC184/SC 2 "Роботи та робототехнічні пристрої" перетворено на ISO/TC 299 "Робототехніка".

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розроблено технологію виготовлення зварного бака, що включає технологічний процес виготовлення обичайки, днища та трубного вузла та їх зварювання між собою.

Для зварювання бака запропоновано роботизоване зварювання плавким електродом в середовищі аргону. У відповідності з технологією виготовлення було підібрано основне зварювальне обладнання та оснастка.

Визначено основні недоліки існуючих автоматизованих систем і технологій для фрактодіагностування та комп'ютерного аналізу ФР зображень одержаних методами скануючої електронної мікроскопії, серед яких особливу увагу слід приділити таким: застосування методів і підходів, які базуються на обробленні бінарних зображень; використання несертифікованого і некаліброваного обладнання; оброблення відеозображень здійснюється в більшості випадків в off-line режимі, хоча число ситуацій, які потребують on-line режиму, з кожним роком все збільшується. Обґрунтовано перспективи розвитку напрямку фрактодіагностування об'єктів – ділянок зруйнованих матеріалів і конструкцій, який може бути реалізовано у вигляді відповідної системи автоматизованої технічної діагностики.

Застосовано алгоритм обчислення ФР в режимі з досліджуваними і подальшим обчисленням параметрів поверхонь руйнування зварного шва виготовленого роботизованим способом.

Практичне застосування розробленого підходу фрактодіагностування підтвердило ефективність при в'язко-крихких мікромеханізмах руйнування. Для в'язкого руйнування властива найвища ФР відповідно, в той час, як найнижчі значення показників ФР були отримані при діагностиці крихких ділянок. 9. Застосування розробленої системи автоматизованої діагностики забезпечує експрес-діагностику процесів окрихчення і індикатором підвищення ефективності роботизованого зварювання.

В роботі запропоновані заходи з охорони праці у спроектованому цеху і дільниці. Це дає змогу підвищити безпеку праці, попередити виробничий травматизм та професійні захворювання.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Bogue R. The growing use of robots by the aerospace industry // *Industrial Robot*, 2020, Vol. 45 No. 6, pp. 705-709, DOI:10.1108/IR-08-2018-0160.
2. Mohd Durvesh Mohiuddin, S. Rasool Mohideen Investigation on the fracture behaviour of wire arc additive manufactured rotor steel weldments after heat treatment, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2022, Vol. 119, 103342, DOI:10.1016/j.tafmec.2022.103342.
3. W. Zhou, X. Jiang, X. Zhou, X. Liu and T. Cheng Progress in standardization for personnel qualification and safety of robotic welding, *2016 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, 2016, pp. 310-313, doi: 10.1109/ARSO.2016.7736301.
4. S. B. Chen On the key intelligentized technologies of welding robot, *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol. 362, pp. 105-116, 2007.
5. Сёмкин К. И. Автоматизация проектирования РТК дуговой сварки на базе избыточных манипуляционных систем: автореф. дисс. ... кандидата технических наук: 05.13.06 / К. И. Сёмкин; науч. рук. А. П. Пашкевич. - Мн.: БГУИР, 2005. - 20 с.
6. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] / Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич, А.И. Акулов. - М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
7. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением [Текст] / С.И. Думов. - Л.: Машиностроение, 1987. – 461 с.
8. Акулов А.И. Сварка в машиностроении [Текст] / А.И. Акулов. - М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
9. Александров А.Г. Эксплуатация сварочного оборудования [Текст] / А.Г. Александров, И.И. Заруба, Н.В. Пиньковский – К.: Будівельник, 1990. – 224 с.
10. Гитлевич А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / Л.А. Этингоф, А.Д. Гитлевич - М.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
11. Винокуров В.А. Сварка в машиностроении. [Текст] / В.А. Винокуров. - М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.

12. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст] / В.Н. Волченко. - М.: Машиностроение, 1986. - 152 с.
13. Методы неразрушающего контроля качества изделий : лабораторный практикум по дисциплине «Специальные методы оценки свойств сварных соединений и элементов конструкции» [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т ; [авт.-сост. : В. В. Атрощенко, М. П. Савичев, Н. И. Фецак]. – Уфа: УГАТУ, 2021. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2021-77.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-77.pdf)
14. Aman Sharma, Rishabh Chaturvedi, Pradeep Kumar, Singh Kamal Sharma Aristo™ robot welding performance and analysis of mechanical and microstructural characteristics of the weld, Materials Today: Proceedings, 2021, Vol. 43, Part 1, P. 614-622.
15. Системы оцувствлення и адаптивныe промышленные роботы / Под. ред. Е.П. Попова. М.: Машиностроение, 1985. - 256 с.
16. Kazasidis, M.E., Pantelis, D.I., Chatzidouros, E.V. et al. Comparative study of toughness between the AN 40 fatigue crack arrester steel and its weld metal in the case of robotic metal-cored arc welding. Int J Adv Manuf Technol, 2018, 99, 1183–1194 <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2533-5>
17. Куркин С.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве [Текст] / С.А. Куркин, Г.А. Николаев. - М.: Высшая школа, 1991. – 398 с.
18. ДСТУ 3159-95. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання. – Чинний від 01.07.1996. - К.: Держстандарт України, 1995. - 36 с.
19. Юрьев В.Т. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники [Текст] / В.Т. Юрьев. - М.: Машиностроение, 1972. – 52 с.

20. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст] / А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2005. - 268 с.
21. Панарин В.М., Карпов В.С., Тонких О.Е. Моделирование сварочных процессов и систем адаптации роботов второго поколения для электродуговой сварки // Компьютерные модели технологии сварки. Тула: ТПИ, 1990.-С.26-34.
22. Куркин Н.С., Панкратов С.Б., Фишкис М.М. Опыт применения промышленных роботов для дуговой сварки // Сварочное производство. - 1985.-№1.-С.27-28.
23. Тимченко В.А., Дубовецкий С.В. Некоторые технологические особенности дуговой сварки роботами // Автоматическая сварка. -1984. -№6. -С.44-52.
24. Трефилов В.Ф., Коробко Г.И. Система управления адаптивного сварочного робота // Сварочное производство. 1981. - №10. - С.5-7.
25. Илюшин, И. Э. Планирование траекторий роботов-манипуляторов на основе нейронных сетей / И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: тезисы докладов XVII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов, Гомель, 24-26 марта 2014 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: О. М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. - Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – С. 206.
26. Илюшин И.Э. Алгоритмы управления сварочными роботами-манипуляторами на основе статистической модели конфигурационного пространства / И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2016. – № 1 (12). – С. 22–29.
27. Илюшин, И. Э. Моделирование и автоматическое управление сварочными роботами-манипуляторами при наличии технологических ограничений : автореф. дисс. ... кандидата технических наук: 05.13.06 / И. Э. Илюшин; науч. рук. М. М. Кожевников. -Минск : БГУИР, 2021. - 28 с.

28. Семкин, К. И. Оптимальное управление манипулятором изделия при сварке группированных швов / К. И. Семкин // Доклады БГУИР. - 2005. - № 1 (9). - С. 93 - 97.
29. Гладков Э.А., Киселев О.Н. Робототехнические комплексы для дуговой и контактной сварки: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 107 с.
30. Pires J.N., Loureiro A. and Bölmsjö G. Welding Robots: Technology, System Issues and Application. Springer Science & Business Media, Springer-Verlag, London 2006. <https://www.springer.com/gp/book/9781852339531>.
31. Worldwide Operational Stock of Industrial Robots, [http://www.worldrobotics.org/uploads/tx\\_zeifr/Charts\\_IFR\\_30\\_August\\_2012.pdf](http://www.worldrobotics.org/uploads/tx_zeifr/Charts_IFR_30_August_2012.pdf)
32. New industrial robots in China [http://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/mif\\_150.pdf](http://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/mif_150.pdf)
33. Adaptive Robotic Welding, <http://www.youtube.com/watch?v=0oEz6UrT9Ro>
34. Y. J. Kim, S. H. Lee, and G. W. Um A study of seam tracking by arc sensor using current area difference method, Conf. of Korea Welding and Joint Society, pp. 136-138, Jan. 1996.
35. Y. J. Kim and S. H. Lee Development of arc sensor model using regression analysis and artificial neural network in CO<sub>2</sub> arc welding, Journal of Korea Welding and Joint Society, 2022, vol. 20, no. 6, pp. 52-58.
36. Li, Yuan, et al. Measurement and defect detection of the weld bead based on online vision inspection, Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, vol. 59, no. 7, pp. 1841-1849, 2010. <https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2028222>
37. J. W. Hur, J. W. Kim, S. J. Na, and S. Y. Lee, A study on seam tracking with an arc signal in GMA welding process with mixed gas, Journal of the Korean Welding Society, vol. 8, no. 1, Mar. 1990.
38. T. J. Lho, D. G. Um, and S. J. Na, "A study on arc characteristics and its application to height control in plasma arc cutting," Welding Journal, no. 8, pp. 277s-281s, Aug. 1992.



39. Xu, Peiquan, X. Tang, and S. Yao, "Application of circular laser vision sensor (CLVS) on welded seam tracking," *Journal of Materials Processing Technology*, 205.1, pp. 404-410, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.268>
40. K. Sung, H. Lee, Y. S. Choi, and S. Rhee, "Development of a multiline laser vision sensor for joint tracking in welding," *The Welding Journal*, (2009).
41. Circular Laser Vision Sensor, <http://www.arc-eye.com/en/solutions/>
42. J. H. Joung, T. S. Kang, H. H. Shin, and S. J. Kim "Autonomous calibration of a 2D laser displacement sensor by matching a single point on a flat structure," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 2, pp. 218-222, 2014. <https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2014.13.1950>
43. J. W. Kim and S. J. Na "A study on an arc sensor for gas metal arc welding of horizontal fillets," *Welding Journal*, vol. 70, no. 8, pp. 216s-221s, Aug. 1991.
44. D. Schwass, M. Wittlich, M. Schmitz, and H. Siekmann, "Emission of UV radiation during arc welding," *Institut für Arbeitsschutz* Dec. 2011.
45. Fanuc TorchMate 3 software option, <http://robot.fanucamerica.com/products/vision-software/AtoZ.aspx>
46. T. S. Kang, et al. "The automatic torch calibration system and the calibration method thereof," Korea Patent No. 1011637260000(2012).
47. J. H. Joung, H. H. Shin, T. S. Kang, and S. J. Kim "Environment adaptive arc welding robot system," *Proc. of 2014 29th ICROS Annual Conference (in Korean)*, p. 329, 2014.
48. M. S. Akturk, A. Tula, H. Gultekin, "Design of a fully automated robotic spot-welding line. In 8th Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics, ICINCO 2011, Noordwijkerhout, 2011, pp. 387-392.
49. Banga H.K., Kalra P., Kumar R., Singh S., Pruncu C.I. "Optimization of the cycle time of robotics resistance spot welding for automotive applications." *J. Adv. Manuf. Process.* 2021, <https://doi.org/10.1002/amp2.10084>
50. Kotowski, P. "Fractal dimension of metallic fracture surface." *Int J Fract* 141, 269–286 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10704-006-8264-x>

51. Журавель І.М. Вибір налаштувань під час обчислення поля фрактальних розмірностей зображення /І.М.Журавель // Науковий вісник НЛТУ України.– 2018.–т. 28.–№ 2. – С.159-163.
52. Попадюк О.П., Козак В.П. Автоматизація визначення фрактальної розмірності поверхонь руйнування епоксикомпозитних матеріалів, 2016, <https://core.ac.uk/download/pdf/74515928.pdf>
53. Гурєєва К.А. Методи і моделі обробки та класифікації зображень об'єктів з елементами самоподібності. Розробка і реалізація нейромережевої моделі класифікації зображень на основі їхньої топологічної розмірності, Магістерська атестаційна робота, 2019, Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 65 с., [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10980/1/2019\\_M\\_EOM\\_Hureeva\\_K\\_A.docx](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10980/1/2019_M_EOM_Hureeva_K_A.docx)
54. Барібан М.А. Методи і моделі обробки та класифікації зображень об'єктів з елементами самоподібності. Підтема 1 — Методи розрахунку топологічної фрактальної розмірності для зображень з елементами самоподібності об'єктів з елементами самоподібності. Методи розрахунку розрахунку топологічної фрактальної розмірності зображень з елементами для зображень з елементами самоподібності, 2019, Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 61 с., [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10970/1/2019\\_M\\_EOM\\_Bariban\\_M\\_A.doc](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/10970/1/2019_M_EOM_Bariban_M_A.doc)