

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

магістра

(освітній рівень)

Автоматизований морфологічний аналіз типів руйнування наплавлених захисних покриттів (комплексна тема)

Виконавли: студенти 6 курсу, групи КАМЗ-61

Спеціальність 151

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва спеціальності)

Палилюлько Е.Е

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Пекар І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

доц. Дмитрів О.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

доц. Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2021

А н о т а ц і я

Палилюлько Е.Е, Пекар І.О.– Автоматизований морфологічний аналіз типів руйнування наплавлених захисних покриттів (комплексна тема).

В кваліфікаційній роботі магістра використано такі терміни: промисловий робот, зварювання, вплив дефектів на морфологію руйнування зварного шва.

Об'єктом дослідження є процес роботизованого зварювання та визначення морфологічних особливостей руйнування наплавлених шарів металу.

Мета роботи – є розробка та тестування методу автоматизації робототехнічного зварювання та оцінювання морфологічних особливостей їх зламів після різних видів руйнування.

У магістерській роботі на основі робототехніки, аналізі зображень, автоматичному електронному мікроскопії проаналізовано якість наплавлених шарів матеріалу. Метод аналізу ґрунтується на застосуванні аналізу морфології зображень, фрактальної діагностики. У лабораторних дослідженнях експериментальними методами визначено ефективність розробленого роботизованого зварювання та процесу поверхневого наплавлення у середовищі, що містить 30% вуглекислого газу. Найважливіше зварювальне обладнання та пристосування підібрано відповідно до виробничого процесу. Для виготовлення бульдозерного ножа обґрунтовано спосіб і режим наплавлення.

ного зварювання (відсутність коливань, «задній кут», швидкість 9 м/год).

Розроблений у цій кваліфікаційній роботі морфологічний аналіз руйнування шару наплавленого металу спрямований на розробку методів і систем для оцінки фрактальної розмірності та кількості ямок на поверхні зламу. Зображення поверхні зламу несе важливу діагностичну інформацію, і інженер зможе зробити висновок про якість та довговічність наплавлення на основі чисельного аналізу. Оцінку стану фрактального графіку також використано для вдосконалення техніки зварювання. Особливо цінним є те, що важливу діагностичну інформацію про тип пошкодження можна отримати за допомогою скануючих електронних мікроскопів за різних масштабів і в широкому діапазоні збільшень.

Palylyulko EE, Pekar IO - Automated morphological analysis of types of destruction of welded protective coatings (complex topic).

The quality of the deposited layers of material is analyzed in the master's thesis on the basis of robotics, image analysis, automatic electron microscopy. The method of analysis is based on the use of image morphology analysis, fractal diagnostics. In laboratory researches the efficiency of the developed robotic welding and the process of surface surfacing in the medium containing 30% of carbon dioxide was determined by experimental methods. The most important welding equipment and fixtures are selected according to the production process. The method and mode of surfacing are substantiated for the production of a bulldozer knife.

welding (no oscillations, "rear corner", speed 9 m / h).

The morphological analysis of the fracture of the deposited metal layer developed in this qualification work is aimed at the development of methods and systems for estimating the fractal dimension and the number of holes on the fracture surface. The image of the fracture surface carries important diagnostic information, and the engineer will be able to draw conclusions about the quality and durability of surfacing based on numerical analysis. Fractal graph estimation is also used to improve welding techniques. Of particular value is the fact that important diagnostic information about the type of damage can be obtained using scanning electron microscopes at various scales and in a wide range of magnifications.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Особливості роботизованого зварювання та формування зварних швів	10
1.2. Методи вивчення структурної стабільності зварних швів та їх структурних дефектів за роботизованого зварювання	14
1.3. Аналіз конструкції відвалу бульдозера, її призначення та можливості застосування для роботизованого зварювання	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Схема технологічного процесу	28
2.2. Обґрунтування застосування роботизованого зварювання	32
2.3. Вибір зварювальних матеріалів для роботизованого зварювання	37
2.4. Розрахунок параметрів режиму роботизованого зварювання	38
2.5. Розрахунок норм витрат зварювальних матеріалів роботизованого зварювання	41
2.6. Вибір основного зварювального обладнання роботизованого зварювання	43
2.7 Вибір зварювальної оснастки роботизованого зварювання	47
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1. Вимоги до складальних пристосувань	55
3.2. Схема механічного притискового пристосування	59
3.3 Розрахунок важільного механізму затискного пристосування	61
3.4. Вибір систем відеоспостереження за формуванням та геометрією зварного шва	64
3.5. Морфологія поверхні руйнування та вимірювання її параметрів	65
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
4.1. Наплавлення та аналіз структури ножа відвалу бульдозера	71
4.2. Форми ямок в'язкого відриву	77
4.3. Фрактографічний аналіз	78
4.4. Визначення фрактальної розмірності і площі в'язких мікромеханізмів руйнування	80

5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Зв'язок між структурним і фазовим станом поверхонь деталей та зносостійкістю за роботизованого наплавлення 93

5.2 Матеріали для відновлення та підвищення зносостійкості поверхонь деталей роботизованим наплавленням 96

5.3 Перспективні способи зміцнення робочих органів землерийних машин роботизованим наплавленням 99

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ

СИТУАЦІЯХ 102

ВИСНОВКИ 109

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 111

ВСТУП

Зварювання є найпоширенішою операцією, яку виконує промисловий робот. Роботи для зварювання, як правило, оснащені тонкою рукою з порожнистим зап'ястям, що з одного боку забезпечує захист прокладених усередині комунікацій, з іншого, дозволяє їм оперувати дуже важкими деталями за умов обмеженого простору. Роботи для зварювання мають певні відмінності у будові для різних видів дугового та контактного зварювання, різання лазером, зварювання лазером, паяння м'яким припоєм.

Перевагами роботизованого зварювання є:

Гнучкість налаштування – коли робот може бути налаштований під певний вид деталей, що зварюються. Є можливість задання параметрів: товщини деталі, виду та довжини зварного шва, часу подачі захисного газу до початку та після закінчення зварювання, геометрії шва, швидкості подачі та відтягування дроту та багато інших.

Універсальність та можливість швидкого переналаштування – коли є можливість переналаштування на виконання різних операцій, а також роботу з іншими виробами за мінімального часу та навіть на інший вид зварювання.

Зростання продуктивності праці – відомо, що дин робот замінює 2-3 професійних зварювальники. Економічний ефект роботизованого зварювання полягає не лише у скороченні фонду оплати праці, а й у підвищенні якості виробленої продукції та загального обсягу випуску.

Підвищення безпеки виконання зварювання – відомо, що місце роботизованого зварювання загороджується сітчастим парканом. Для додаткової безпеки робототехнічні осередки комплектуються фотодавачам, які зупиняють зварювальний робот при заході людини в зону його роботи. Зварювальні роботи є ідеальним рішенням для роботи у вузькому просторі. Вони мають інтерфейсну програму, що не потребує налаштування, для підключення до джерел живлення зварювальних апаратів. Програма дозволяє легко та швидко підключатися до всіх поширених джерел живлення зварювальних апаратів, параметри джерел живлення можуть відстежуватись та

регулюватися у процесі роботи з пульта керування. Зварювальні роботи зазвичай додатково оснащені системою технічного зору, яка дозволяє:

- визначати тип деталі;
- визначати положення деталей та зварювального шва;
- виконати після зварювального огляд.

Роботизоване зварювання застосовують у різних галузях промисловості, наразі найбільш традиційними є автомобілебудування, авіабудування, у яких широко застосовують конвеєрне виробництво, роте, у останні роки зварювання з допомогою роботів починають застосовувати навіть малі підприємства. Причинами цього є зниження ціни роботів, збільшення асортименту зварювальних апаратів, сумісних з роботом і, звісно, наявність інтеграторів, пропонують готове рішення, під конкретне завдання виробництва. Перевагами роботизованого зварювання, з точки зору бізнес-процесів є: зменшення залежності від кваліфікації персоналу, підвищення якості виробів та продуктивності, надійність і можливість точнішого планування виробництва.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Особливості роботизованого зварювання та формування зварних швів

Зварювальними роботами називають повністю автоматизовані системи виконання зварювальних робіт з можливістю їх програмування. Основні завдання роботизації зварювання - виведення людини із зварювальної зони, повна автоматизація виробництва, спрямована на підвищення продуктивності зварювання у кілька разів.

Особливості роботизованого зварювання.

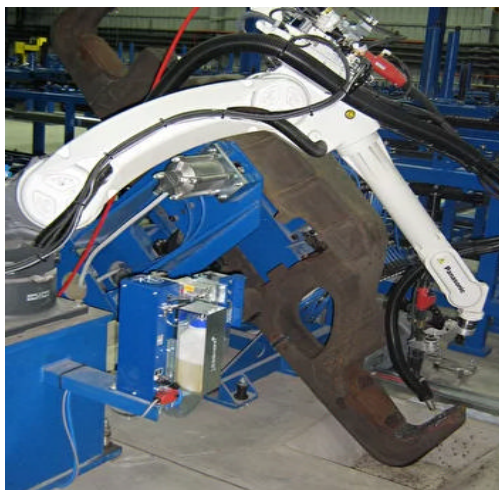
Роботизована зварювальна система передбачає використання роботів-маніпуляторів, робочий цикл яких заздалегідь програмується і задається. Основними перевагами таких систем є висока якість шва і великий обсяг виконання робіт.



а



б



в



г



д



е

Рис. 1.1. Роботизоване зварювання: а,б - рамних конструкцій; в, г– букс залізничних вагонів; д, е – крупногабаритних деталей.

Технічна характеристика дуги зварювального робота дозволяє виконувати зварювальні роботи дугою до кількох міліметрів, що забезпечує виконання шва шириною 3-4 міліметрів.

Слід відзначити, що на формування шва не впливає геометрія та позиція захоплення заготовки, так як практично всі роботи працюють із заготівлею на затискачах, можливе відхилення зазвичай не перевищує 5 мм. За роботизованого зварювання можливе ручне коригування виробу, який подається до зону оброблення.

Це підвищує якість габаритних заготовок, які важко піддаються затисканню, проте це може до 30% знижувати продуктивність.



Рис. 1.2. Роботизоване зварювання із використанням затискачів

Проте, варто уникати використання оснастки, як інструмента виправлення геометрії заготовок та вирішувати ці технічні проблеми на попередніх технологічних операціях. Існують також затискні пристрої з можливістю регулювання сили стискання, які можна використовувати як додаткові маніпулятори для регулювання просторового положення заготовки для роботів - зварювальників.

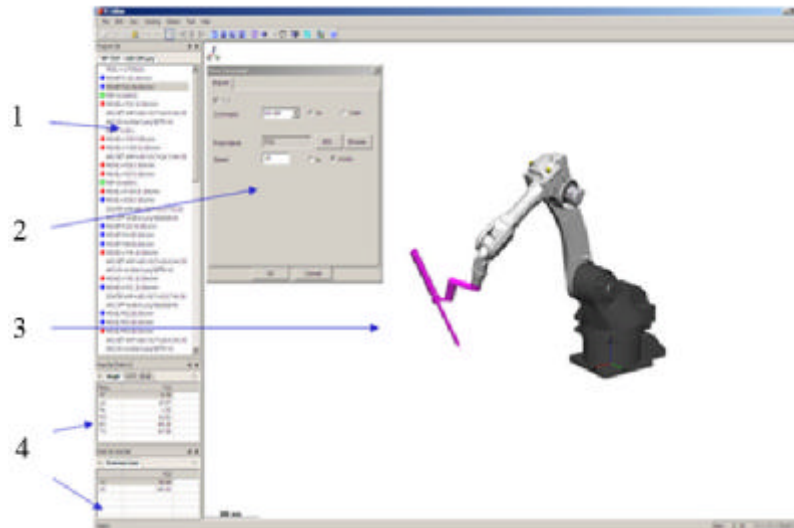
Зварювання із застосуванням роботів дає відмінні результати якості, але за умови дотримання низки вимог – наприклад для листового металу виключаються всі види попереднього різання, крім лазерного.

Є кілька основних видів роботизованого зварювання:

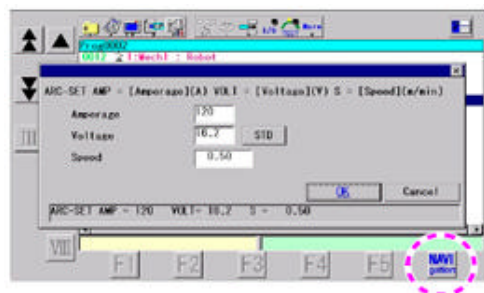
- електричне дугове зварювання в захисному газовому середовищі плавким електродом;
- зварювання електричною дугою під шаром флюсу чи шлаку;
- зварювання полум'ям плазмової фактури;
- комбінований гібридний вид зварювання із застосуванням деформуючих вальців;

Всі ці методи характерні для власних видів виробництва та мають різне виконання та якість зварювального шва. Тому дослідження у цьому напрямку є важливими та актуальними.

Програмне забезпечення оптимізовано для виконання роботом зварювання у середовищі захисного газу та інших типів зварювання та наплавлення, рис. 1.3.



а



б

Рис. 1.3. Елемент програмного забезпечення керування зварювальним роботом

Параметри всіх типів зварювальних джерел, зварювальних пальників, механізмів подачі зварювального/присадкового дроту, синхронних обертачів занесені в пам'ять програми і вибираються користувачем за певною моделлю пристрою, що дозволяє уникнути помилок при написанні програми користувача, а також значно скорочує час підготовки та налагодження програми.

1.2. Методи вивчення структурної стабільності зварних швів та їх структурних дефектів.

Відомі зварювальні комплекси на основі роботів світових лідерів з автоматизації виробництва - компаній KUKA (Німеччина), Yaskawa (Японія) та Fanuc (Японія). Зазвичай стабільність структури зварних швів високоміцних матеріалів формується внаслідок його зміцнення введенням легуючих елементів або формуванням зміцнювальних твердих фаз. Кривизна кристалічних ґраток, меж зерен є узагальненим структурним параметром, що дозволяє з єдиних позицій описати деформацію та руйнування полікристалічного діла. Врахування масштабних рівнів дозволяє об'єднати та систематизувати механізми деформування полікристалічних сплавів на різних масштабних рівнях, включаючи руйнування. Такий підхід є абсолютно новим і не має аналогів у світі. Окремі аспекти таких методів нараз лише проходять апробацію в Центрі нанорозмірних матеріалів (США) і створення вітчизняного підходу є пріоритетним завданням.

Одним з перспективних методів реалізації багаторівневого підходу технічного діагностування структурно-механічної пошкодженості є застосування нейронних мереж. Перевагою такого підходу, з точки зору автоматизації аналізу є те, що значна частина її елементів можуть функціонувати паралельно, тим самим істотно підвищуючи ефективність роботи, особливо при обробці значних вибірок зображень поверхонь руйнування. Разом з цим нейронні мережі стійкіші, ніж інші статистичні методи розпізнавання зображень, якщо вхідне зображення зашумлене. Їх буде використано як основу для розробки системи автоматизованого діагностування стану полікристалічних матеріалів на прикладі високоміцних титанових сплавів та трубних сталей. Тому, розробка і

дослідження систем діагностики структурно-механічної пошкодженості та деградації полікристалічних матеріалів за допомогою глибоких неймереж є актуальним завданням. Такий контроль промислових металоконструкцій є одним з визначальних чинників при оцінці їх якості, надійності і придатності до подальшої експлуатації. Безаварійна експлуатація металоконструкцій передбачає своєчасне виявлення дефектів та якісного і кількісного оцінювання її стану. При цьому особливо важливими є методи неруйнівного контролю, оскільки вони дозволяють проводити діагностику без виведення конструкції з експлуатації.

Розміри ямок в'язкого відриву є визначальними структурно-чутливими параметрами, які дозволяють оцінювати фізичні, механічні, оптичні, хімічні та теплові властивості, полікристалічних матеріалів. Центр нанорозмірних матеріалів, Аргоннська національна лабораторія, Аргонн (США), активно застосовують нейронні мережі для аналізу великих вибірок даних, зображень, технічного діагностування на основі штучного інтелекту. Для неруйнівного візуального аналізу поверхонь широко використовують системи машинного зору, зокрема в Центрі 4D Матералознавства Арізонського держ. ун-ту (США), рис. 1.4.

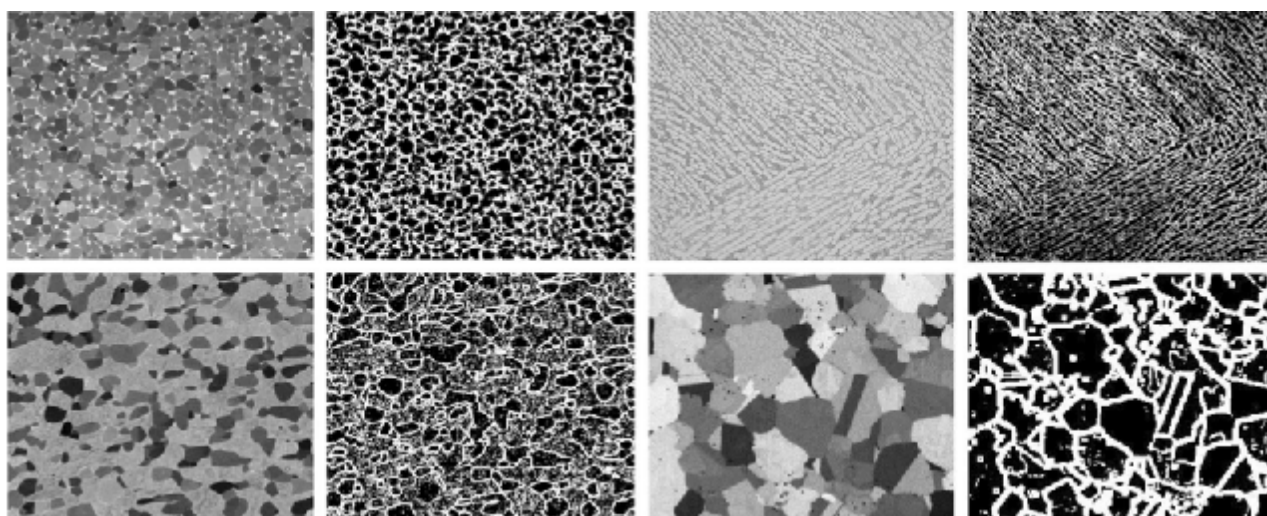


Рис. 1.4. Приклад бінаризовани зображень зерен різних полікристалів опрацьованих за алгоритмом [1]

Вони спрямовані на розпізнавання візуальних шаблонів, характерних для дефектних та непошкоджених фрагментів поверхні [1]. Промислове застосування таких систем вимагає від них надійності, точності та швидкості. Останні досягнення в області згорткових нейронних мереж та застосуванні графічних процесорів для виконання паралельних розрахунків забезпечують можливість практичного використання такого підходу в реальних виробничих умовах.

Відомі праці Ємельянової та ін. (ФРН, Росія) в яких встановлено вплив мікроструктури, модифіковано ультразвуковим обробленням на мікро- та мезомасштабні закономірності деформування титанових зразків за одновісного розтягу, для цього було створено 3-D моделі полікристалічних тіл, які враховують геометрію зерен та їх кристалографічну орієнтацію, ри. 1.5.

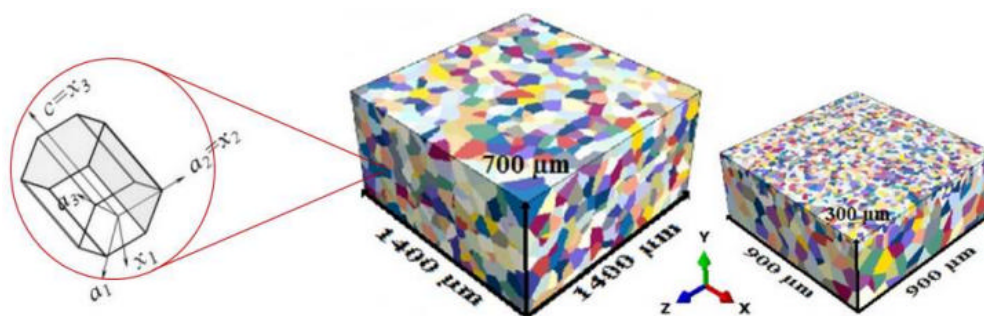


Рис. 1.5. Принципова схема 3-D моделі полікристалічного тіла, яка враховує геометрію зерен та їх кристалографічну орієнтацію

Такий підхід забезпечив урахування нелінійної поведінки окремих зерен, в рамках теорії анізотропної пружності полікристалічних матеріалів та чисельне оцінювання структурної пошкоженості.

У роботі [3] автори довели ефективність застосування глибокої згорткової нейромережі для автоматизованого виявлення дисперсоїдів, зерен і їх меж (GB) за одержаним металографічним зображенням мікроструктури. Застосуванням запропонованої нейромережі було досягнуто точності класифікації майже 98%, крім того витрати часу на проведений аналіз є

незрівнянно меншими ніж за «ручного», або «автоматизованого» класифікування.

У цій роботі було показано, що ML мережі сегментації Simple-UNet і DENSE-UNet, а також мережа виявлення об'єктів YOLOv5 можуть бути достатньо точно характеризувати мікроструктури, що включають як пори, так і межі зерен полікристалів за допомогою трансферного навчання. Однак, щоб розвинути автоматичне ідентифікування у деяких випадках може знадобитися більший набір даних мікроструктур, включаючи зображення пор та зерен. Використання більших наборів даних для навчання нового розширеного класифікатора CNN для виявлення типів мікроструктур, можуть бути перспективним рішенням для розробки повного автономного фреймворку ML, рис. 1.6.

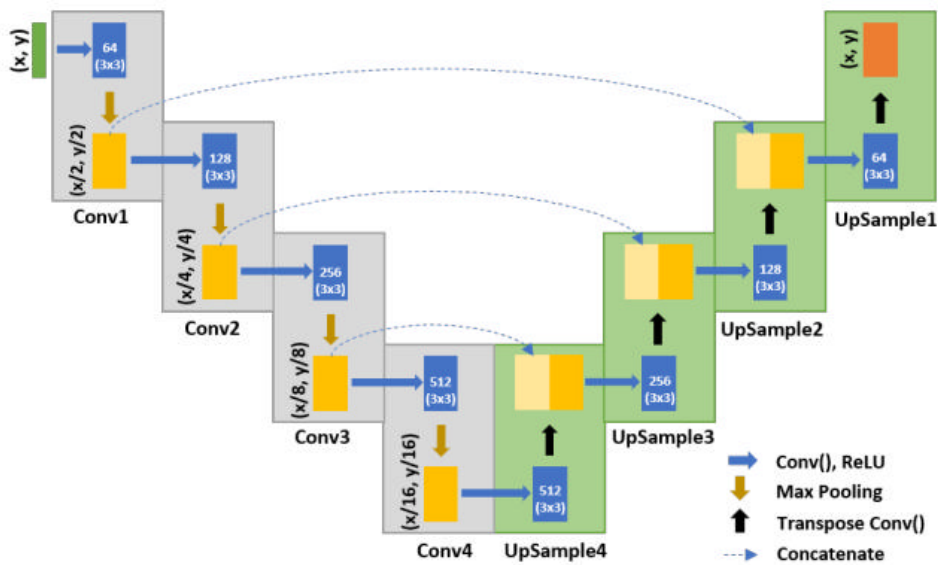


Рис. 1.6. Архітектура мережі спрощеного кодера-декодера U-Net Simple-UNet

Дуже цінні результати було одержано у [4], авторські нейромережеві підходи успішно застосовано та апробовано при аналізі двофазних (DP) сталей і класифікації мартенситної/феритної фаз, їх кількісного оцінювання, виявлення фракцій та обчислення розмірів зерен за різних температур на основі зображень СЕМ. У [5] розвинуто підходи використання СЕМ для кількісного оцінювання мікроструктурних характеристик

матеріалів. Доведено ефективність застосування нейронних мереж для аналізу розфокусованих зображень. Для підтвердження ефективності було використано одномасштабну нейронну мережу (CNN), багатомасштабну CNN і багатомасштабну CNN. Використання такого підходу не лише підтвердило одержання додаткової інформації за аналізу зображень, але показало можливість поглибленої інтерпретації одержаних результатів.

Автори [6] використали згорткові нейромережі і створили методичні передумови розгляду мікроструктури не як дискретних фаз а як сукупності морфологічних утворень які описують аналізовану поверхню, рис. 1.7.

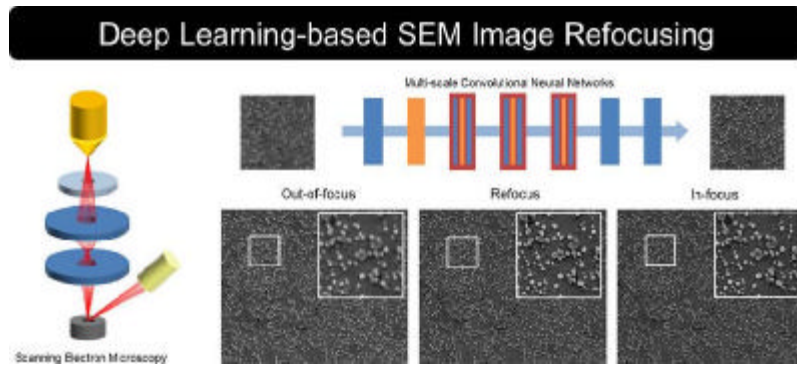


Рис. 1.7. Дослідження структури зерен за допомогою зображень із різним ступенем розфокусування та застосуванням одномасштабної нейронної мережі (CNN)

Це дозволило авторам розвинути раніше запропонований метод створення синтетичної мікроструктури матеріалів для бази даних UltraHigh Carbon Steel (UHCSDB). Створені підходи забезпечують як оцінювання деградації експлуатованих матеріалів так і проектування нових. Проектування матеріалів передбачає оцінювання властивостей за допомогою попередньо заданих параметрів. Оскільки мікроструктура містить великі обсяги даних, зменшення розмірності за допомогою аналізу головних компонент або багатовимірного масштабування є звичайною практикою багатомасштабного оцінювання [7].

Можливості оцінювання пошкодженості матеріалів та локалізації мікрODEформацій показано у [8],

Автори вдало використали підходи машинного навчання на основі великих обсягів даних для оцінювання локальних полів і встановлення зв'язків між структурою та властивостями матеріалів. У цій статті застосовано один з алгоритмів на основі глибокого навчання, відомих як UNet, для прогнозування локальних полів деформації в двофазному матеріалі, підданому одновісному розтягу. Модель підготовлена та протестована на 1200 двофазних мікроструктурах, що містять категорії 2-х фракцій та шість різних морфологічних класів. У тестовому наборі даних досягнуто 94% точність оцінювання. Проведено детальний статистичний аналізі запропоновано модель глибокого навчання для локалізації мікрODEформаційних процесів.

Всі вищезазначені підходи створили методологічне підґрунтя виявлення наукових закономірностей між топографічними характеристиками поверхні зламу та механізмами структурно-механічної деградації та зовнішніми умовами деформування. [9] Кількісний аналіз поверхонь руйнування становить особливий інтерес як для наукового співтовариства, так і для промислового сектора, що має потенціал для кращого розуміння механізмів, що контролюють процес руйнування, підвищення надійності обчислювальних моделей, проектування нових матеріалів. Завдяки новим досягненням у сфері аналізу зображень, а саме завдяки тому, що інструменти машинного навчання стають доступнішими та надійнішими, тепер можливо автоматизувати процес вилучення значимої інформації із зображень поверхні зламу.

Розробка та статистика дескрипторів для виділення ознак, методів діагностики забезпечуються здатністю нейронних мереж аналізувати незбалансовані та важко пов'язані дані [10], й потребує подальшого розвитку, що є передмовою написання даного запиту.

1.3. Аналіз конструкції відвалу бульдозера, її призначення та можливості застосування для роботизованого зварювання

Виробом є відвал бульдозера, який призначений для горизонтального переміщення сипучих мас та формування рельєфу. Відвал встановлюється в передній частині бульдозера на гусеничній платформі. Виріб складається із: планера 1 виготовленого із листового прокату, планер є основною частиною відвалу, та з'єднаний із трактором за допомогою жорсткої рами 2 виготовленої із сортового та листового прокату, який постачається згідно ГОСТ 3436-96. На рисунку 1.1 зображено загальний вигляд відвалу бульдозера.

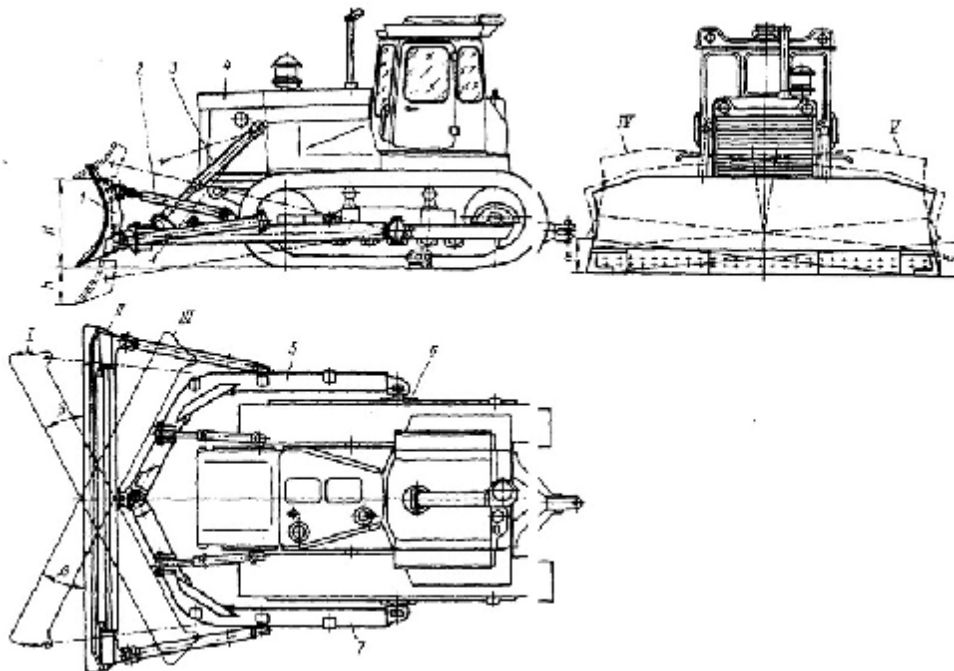


Рис. 1.8. Робоче обладнання бульдозера з поворотним відвалом: 1 - відвал, 2 - штовхач, 3 - гідроциліндр підйому-опускання відвалу, 4 - трактор, 5, 7 - напіврами, 6 - шарнір

Характеристика матеріалу зварного виробу

Матеріалом для виготовлення складальних одиниць і деталей відвалу служить сталь ВСт3, що випускається за ГОСТ 380-71. Це конструкційна сталь звичайної якості, поставляється за хімічним складом та механічними властивостями з обмеженим вмістом вуглецю, фосфору і сірки.

Легуючі елементи впливають на показники зварюваності сталей. Збільшення вмісту елементів, які збільшують загартованість супроводжується зниженням опору зварних з'єднань проти виникнення холодних тріщин.

При зменшенні погонної енергії та підвищенні інтенсивності охолодження на границях швів та зони термічного впливу підвищується можливість розпаду аустеніту з виникненням загартованих структур. При цьому буде знижуватися опір зварного з'єднання до виникнення холодних тріщин.

Зварне з'єднання повинно бути стійким до переходу в крихкий стан. Технологія повинна забезпечувати максимальну продуктивність та економічність процесу зварювання для визначення вимог надійності конструкції.

Хімічний склад та механічні властивості сталі ВСт3 приведені в таблицях 1.1 і 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі ВСт3 за ГОСТ 380-71 [3]

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Cu, %	Ni, %	P, %	S, %	As, %
			не більше					
0,14 - 0,22	0,12 - 0,3	0,4 - 0,65	0,30	0,30	0,30	0,05	0,04	0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі ВСт3 за ГОСТ 380-71 [3]

Стан постачання	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 ,
		МПа		(δ_4),
		Не менше		%
Прокат гарячекатаній	До 20	245	370-480	26
	Від 20 до 40	235		25
	Від 40 до 100 Вище	225		23
	100	205		23
Листи гарячекатані	До 2,0 вкл. Від 2,0 до 3,9 вкл.	–	370-480	(20) (22)

Зварюваність - комплексна характеристика металу, яка характеризує його реакцію на фізико – хімічну дію процесу зварювання і здатність утворювати зварні з'єднання, які відповідають заданим експлуатаційним вимогам. До основних критеріїв зварюваності відносять:

- окислення металу при зварюванні;
- здатність чинити опір утворенню гарячих тріщин і тріщин при повторних нагрівах;
- здатність чинити опір холодних тріщин і повільному руйнуванню;
- чутливість металу до теплової дії зварювання;
- чутливість до утворення пор.

Схильність сталі ВСт3 до утворення якісного зварного з'єднання, тобто її зварюваність, визначаємо, виходячи із еквіваленту вуглецю, який визначаємо за формулою:

$$C_{\text{екв}} = C + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Ni}/10 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{Cu}/15 + \text{V}/14 + 5\text{B}, \quad (1.1)$$

де символи хімічних елементів означають їх вміст в сталі, %.

$$C_{\text{екв}} = 0.22 + 0.65/6 + 0.3/24 + 0.3/10 + 0.3/5 + 0.3/15 = 0.44 \text{ \%}.$$

Оскільки $C_{\text{екв}} = 0.44$, то сталь ВСт3 не схильна до утворення холодних тріщин і має добру зварюваність, а зварні шви володіють хорошою стійкістю проти утворення тріщин при обґрунтованих режимах зварювання.

Технічні умови на виготовлення відвалу бульдозера

Відвал бульдозера повинен виготовлятися у відповідності з кресленнями, державними, галузевими стандартами, а також діючими нормативно-технічними документами, затвердженими у встановленому порядку. Вибір марок сталей для виготовлення конструкції повинен відбуватися із врахуванням належності даної конструкції до певного класу.

Так як для виготовлення конструкції використовується вуглецева сталь, то в кресленнях необхідно вказувати:

- а) групу та категорію для сталі за ГОСТ 380-71;

б) вимоги по степені розкислення для сталі за ГОСТ 380-71 і ГОСТ 1050-74.

Використовуваний матеріал по хімічному складу і механічним властивостям повинен задовольняти вимоги держстандарту, технічні умови.

Якість і характеристика матеріалу повинна підтверджуватися організацією поставником у відповідних сертифікатах якості.

Вимоги до матеріалу рами, його межі застосування, призначення, умови застосування, види випробувань повинні задовольняти вимоги ГОСТ щодо цього матеріалу.

Елементи, які приварюються безпосередньо до рами з зовні або з середини, повинні виготовлятися з матеріалів, які володіють гарною зварюваністю і мають з матеріалом рами близькі значення коефіцієнтів лінійного розширення. При цьому різниця в значеннях коефіцієнтів лінійного розширення не повинна перевищувати 10%.

При замовленні сталі за ГОСТ 5520-79 необхідно вимагати постачання сталі з додержанням вмісту сірки і фосфору не більше 0,035%.

Додаткові вимоги до матеріалу, які не передбачені стандартами або технічними умовами, повинні бути обов'язково вказані в технічній документації.

Для зварної рамної конструкції слід застосовувати замкнуті профілі, а також коробчасті елементи.

Зварні з'єднання із замкнутих та відкритих профілів рекомендується виконувати за діючою в галузі нормативно-технічною документацією.

В зварних елементах не слід допускати різноманітних змін перерізів, гострих кутів та інших факторів, які викликають концентрацію напружень чи нерівномірність силового потоку. Потрібно вибирати з'єднання з мінімальною концентрацією напружень.

Допуск на сумісні елементи зварної конструкції відвалу визначається за ОСТ 23.2.9-70; невказані граничні відхилення розмірів за ОСТ 23.2.456-76; допуски на розміри даної конструкції за ОСТ 23.1.468-78 та ОСТ 23.1.469-78;

припуски на елементи зварної конструкції, які підлягають механічному обробленню за ОСТ 23.1.466-78.

Допуск на розміри сумісних деталей повинні забезпечити наступні операції:

а) складання деталей без підганяння їх по місцю призначення;
б) дотримання зазорів в стиках з'єднуваних елементів, передбачених за ОСТ 23.1.470-78;

в) отримання складальних розмірів та виконання технічних умов на зварний шов чи конструкцію з врахуванням деформацій, які виникають при зварюванні та встановлюються розрахунком.

В процесі виробництва на стадії проектування і виготовлення виробу повинні бути збережені геометричні розміри і форма виробу. Це завдання вирішується встановленням ряду вимог, а саме:

- розроблення конструкції з врахуванням технічних особливостей виробництва;

- дотриманням оформлення всіх зварних з'єднань з врахуванням характеру їх обробки, форми підготовки кромки, допусків на розміри;

- чітким дотриманням технології для попередження виникнення напружень і деформацій.

Всі деталі, які поступають на складання під роботизоване зварювання, мають бути відрихтовані. Неплощинність, непрямолінійність не повинні перевищувати 3 мм на 1 погонний метр (якщо в кресленні деталі немає вказівок на більш високу точність). На поверхнях, які складаються під зварювання не повинно бути масла, іржі, окалини, бруду та вологи. Недопускаються під зварювання деталі, які пройшли термічне гартування, цементацію та оксидування.

Складання деталей повинно здійснюватись в спеціальних складально-зварювальних пристосуваннях. При призначенні базових розмірів складально-зварювальних пристосувань, установок та стендів необхідно враховувати деформації, що виникають при зварюванні вузла. Допустимі зазори та зміщення

зварюваних кромок при складанні елементів під зварювання повинні відповідати вимогам ОСТ 23.1.466-78.

Методи складання складальних одиниць відвалу під зварювання повинні забезпечувати правильне взаємне розташування спряжених елементів і вільний доступ для виконання зварювальних робіт в послідовності, передбаченій технологічним процесом. Розроблення кромок і зазор між кромками деталей, які підлягають зварюванню, повинні відповідати вимогам креслення і стандартів на зварні шви. При роботизованому зварюванні у середовищі вуглекислого газу прихоплення повинно виконуватись тільки в місцях та послідовності, передбачених технологічним процесом. Довжина прихоплень повинна бути не більше 25 мм, переріз - 0,35-0,75 мм. Властивості зварних з'єднань конструкцій, як правило, повинні відповідати властивостям основного металу. В ряді випадків встановлюються мінімально допустимі показники механічних властивостей, в першу чергу міцність, ударна в'язкість та пластичність. Основні типи і конструктивні елементи швів у зварних з'єднаннях, що виконуються роботизованим дуговим зварюванням у середовищі вуглекислого газу, повинні відповідати умовам ОСТ 23.1.466-78. Конструктивні елементи нестандартних швів встановлюються розробниками конструкторської документації та вказуються на кресленні.

Також важливо дотримуватись наступних вимог: дотримання форми і розмірів швів у відповідності до технічних умов, вказаних на кресленнях; використання основного і зварювального матеріалів з мінімальним вмістом сірки і фосфору; проведення умов, що приводять до дрібнозернистості структури первинної кристалізації.

Розрахункова довжина швів не повинна бути меншою 30 мм. При проектуванні напусткових з'єднань повинні бути передбачені комбіновані (лобові та флангові) шви. Зварювання одними фланговими швами допускається тільки в зоні мінімальних напружень.

В таврових з'єднаннях із двобічними швами не допускається розміщення деталей під кутом менше 70° .

Для конструкцій вузлів, що працюють в умовах змінних навантажень, не слід застосовувати стикові з'єднання з накладками. Допускається, при необхідності, застосовувати стикові з'єднання із накладками, із зрізами чи заокругленими кутами, а також у вигляді ромбів, які забезпечують найбільш рівномірний розподіл напружень.

Зварні з'єднання не повинні мати дефектів, які виходять за границю норм, встановлених ОСТ 23.2.429-80. Зварні шви відвалу бульдозера повинні бути розміщені так, щоб була можливість візуального огляду і контролю якості неруйнівним методом, а також усунення в них дефектів. Відстань між краєм шва приварювання внутрішніх і зовнішніх пристроїв і деталей і краєм найближчого шва відвалу повинна бути не менша товщини стінки елементів з яких зварюється конструкція. Допускається перетин стикових швів, конструкції відвалу, кутовими швами для приварювання внутрішніх і зовнішніх елементів (розкосів, кронштейнів, косинок і ін.) за умови контролю неруйнівними методами. Допускається виконувати зварювання стикових швів без попереднього притуплення більш товстої з деталей, якщо різниця між товщинами не перевищує 30%. При оцінюванні якості велике значення має гострота одиничних дефектів в з'єднаннях, їх кількість, частка браку, а також частка виправлених дефектів. Виправлення дефектів не завжди підвищує працездатність виробу. Крім того, виправлення дефектів пов'язане з додатковими економічними витратами. Розміри дефектів, допустимих без виправлення, регламентується нормативно-технічною документацією, яка діє в кожній із галузей промисловості. [4]

Зварні з'єднання не повинні мати дефектів, що виходять за межі норм встановлених ОСТ 23.2.429-80.

За наявності в зварному з'єднанні різноманітних дефектів, допустимих без виправлень у відповідності з ОСТ 23.2.429-80, загальна довжина ділянок із дефектами не повинна перевищувати в даній конструкції 15% від загальної довжини шва в зварному з'єднанні.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Основними вимогами при виготовленні відвалу є дотримання розмірів, в межах допусків вказаних на кресленнях, дотримання правильності форми конструкції та всіх розрахованих і підібраних параметрів режимів зварювання, що вказані в технологічних картах на виготовлення конструкції, дотримання правил техніки безпеки [4].

Згідно з ОСТ 23.2.429-80 відвал бульдозера – це зварна конструкція II класу, зварні шви якої під час виготовлення виконуються у відповідності з ГОСТ 14771-76.

Основними технічними вимогами до виробу та його зварювання є дотримання розмірів деталей, а також режимів зварювання.

Режими зварювання повинні забезпечувати якість зварних з'єднань у відповідності до вимог ОСТ 23.2.429-80; та встановлюються для кожного типу зварного з'єднання в залежності від товщини зварюваних деталей, марок сталей, що застосовуються, зварювальних матеріалів. Шви зварних з'єднань повинні бути очищені від шлаку. Лицеві та декоративні поверхні, які підлягають фарбуванню у відповідності з ГОСТ 9025-77, повинні бути очищені від зварних бризок. Такі поверхні необхідно вказувати в конструкторській документації. Допускається не очищувати від бризок поверхні робочих органів виробу, які дотикаються в процесі експлуатації із ґрунтом. Ґрунтування, шпатлювання та фарбування зварної конструкції повинні проводитись тільки після того, як даний виріб буде прийнятий контролем ВТК.

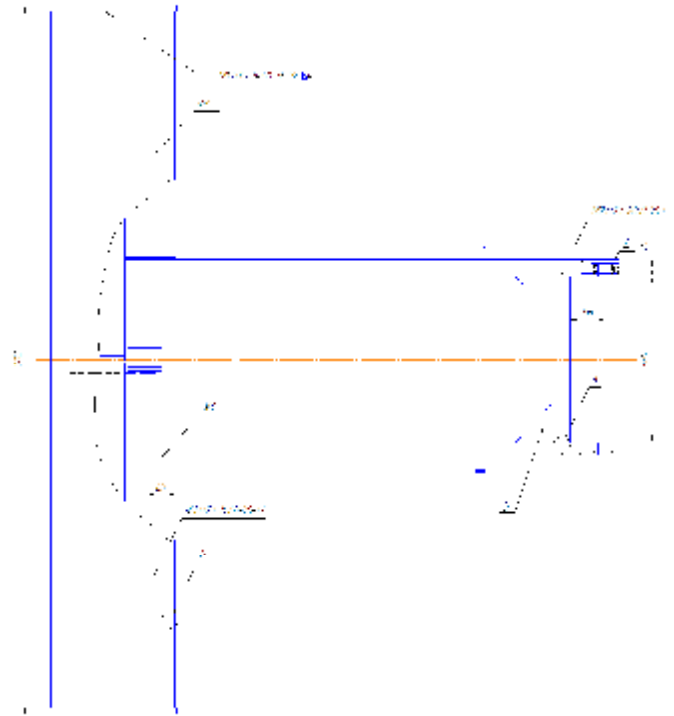
2.1. Схема технологічного процесу



а



б



в

Рис. 2.1. Технологічне призначення – а,б та загальний вигляд відвалу бульдозера

На кінцях рами передбачені кріпильні отвори 4, для закріплення її на бульдозері. Жорсткість планера забезпечується ребрами жорсткості 5. Піднімання відвалу здійснюється за допомогою гідравлічного приводу, що кріпиться на бульдозері. Для регулювання відвалу гідроприводом передбачені спеціальні провусини 3 підсилені ребрами жорсткості.

Технологічний процес виготовлення відвалу бульдозера складається з наступних операцій: заготівельні, складальні, зварювальні, опоряджувальні, допоміжні, контрольні. При виготовленні відвалу бульдозера необхідно виготовити складові деталі відвалу, а саме:

- раму відвалу;
- планер;



Рис. 2.2. Схема напівсферичного відвалу:
<https://www.zepelin.ru/about/articles/obzor-buldozernyh-otvalov/>

Заготовки для виготовлення відвалу виготовляють із листового прокату та фасонних профілів (кутників та фасонних труб). Правлення листового прокату здійснюється шляхом створення місцевих пластичних деформацій і проводиться в холодному стані на листопрямильних валках (рис. 2.3).

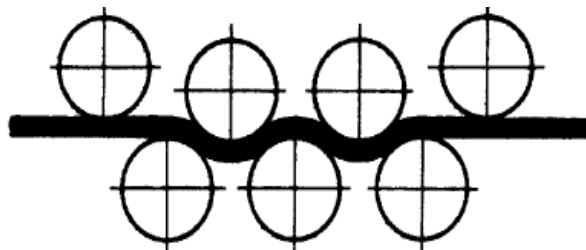


Рис. 2.3. Схема правлення листового прокату

Правлення профільного прокату здійснюють на роликівих машинах, які працюють за тією ж схемою, що і листопрямильні (рисунок 2.2).

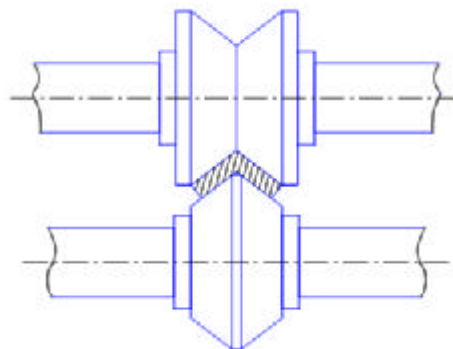


Рис. 2.4. Схема правлення профільного прокату

Наступною операцією є розмічування. Розмічування проводимо оптичним методом без шаблону, по кресленню, що проектується на розмічувальну поверхню.

Різання листових деталей з прямолінійними кромками металу товщиною до 40 мм проводимо лазерним різанням (рис. 2.5). При довжині заготовок від 1 до 4 м, похибка розміру складає $\pm 0,2 \dots 0,3$ мм при розрізанні по розмітці.

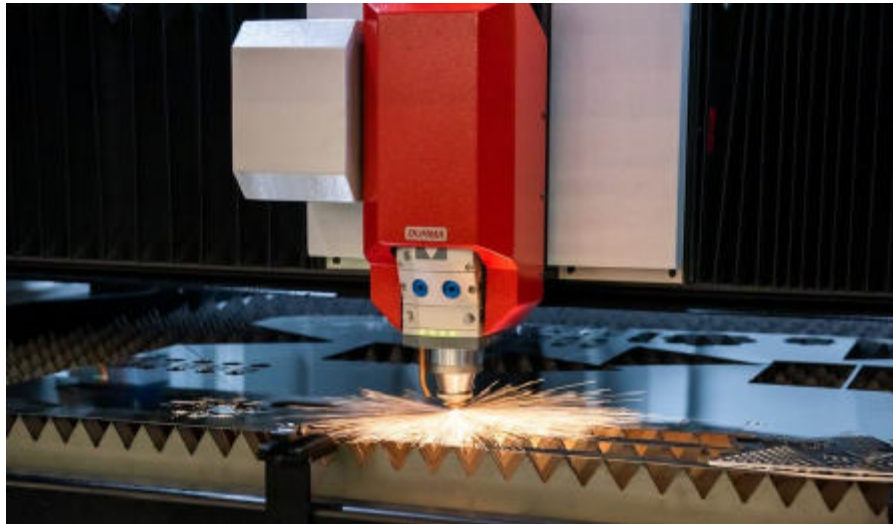


Рис. 2.5. Схема різання металу лазером потужністю 2 кВт.

Механічне оброблення кромки проводять на верстатах. Це здійснюється для:

- забезпечення необхідної точності складання;
- оброблення фасок складної форми;

Очищення поверхні металу складається з наступних операцій: видалення фарби, мастил та інших забруднень; кінцеве обезжирення; видалення окисних плівок; пасивування поверхні; промивання; сушіння. Мастило, фарбу та інші забруднення видаляють металевими щітками, протиранням тканиною. Кінцеве обезжирення проводять розчинниками. Окисні плівки видаляються хімічними методами. З метою запобігання утворення іржі на металі в процесі виготовлення зварного виробу проводять пасивування. Перед складанням заготовки промивають і сушать.

Перед складанням візуально перевіряємо відповідність деталей вузлів вимогам креслення. При складанні виробу забезпечуємо таке взаємне розміщення деталей, в якому вони повинні знаходитись в готовому вигляді. Складальний вузол повинен володіти жорсткістю і міцністю, необхідною для зменшення деформацій при зварюванні.

Перед складанням рами відвалу потрібно доставити всі складові вузла на робоче місце. Складальні операції проводимо в такій послідовності:

- а) встановлюємо труби на опори призми кондуктора;
- б) встановити в пристосування послідовно зварювані елементи і зафіксувати їх положення чотирма висувними фіксаторами;
- в) встановити в ложементи пристосування кронштейн і зафіксувати його положення двома висувними фіксаторами;

Для якісного і продуктивного виконання зварювальної операції потрібно забезпечити:

- а) складання деталей і вузлів з оптимальним зазором;
- б) доступність зони з'єднання для інструменту;
- в) раціональне чергування складальних і зварювальних операцій і відповідну послідовність накладання швів;
- г) позиціонування зварюваних кромок в просторі і відносне переміщення інструменту і виробу, які відповідають оптимальним умовам зварювання [4].

Після складання деталей рами відвалу виконують прихоплення зварюваних вузлів виробу, якщо ж прихоплення виконують в місцях, де шви проектом не передбачені, то після зварювання виробу такі прихоплення потрібно видалити, а поверхні ретельно зачистити [4].

Перед початком зварювання проводимо налагодження обладнання, регулюємо витрати захисного газу, виліт електродного дроту, встановлюємо параметри необхідного режиму зварювання. Після складання і прихоплювання, проводять зварювання катетом 4 мм. Після зварювання рами відвалу проводять складання лобового листа відвалу з боковинами в такій послідовності:

а) встановлюємо боковини та лобовий лист з вже сформованою геометрією на опори призми пристосування;

б) встановлюємо в пристосування послідовно зварювані елементи і фіксуємо їх положення фіксаторами.

Після виконання зварювання проводимо зачищення швів, видалення металевих бризок з поверхонь зварних вузлів. Для опоряджувальних операцій використовуємо окуляри, молоток, зубило.

При виготовленні відвалу бульдозера виконуємо наступні допоміжні роботи: налагоджувальні, перевантажувальні, підйомно-транспортні.

При виконанні перевантажувальних і підйомно-транспортних робіт здійснюємо перевезення заготовок на робоче місце, транспортування вузлів на наступні операції.

Зовнішнім оглядом перевіряємо форму і розміщення швів у відповідності з кресленням, наявність зовнішніх дефектів, деформації вузлів, внутрішні дефекти в швах контролюємо ехо-імпульсним методом ультразвукової дефектоскопії.

2.2. Вибір способу зварювання

Доцільність застосування того чи іншого способу зварювання при виготовленні відвалу бульдозера визначається на основі аналізу таких факторів: технічних і економічних вимог до зварних з'єднань; зварюваність металу; заданої продуктивності; можливості механізації та автоматизації процесу; безпечності 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 (роботизовані) 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 газах.

Автоматичні способи зварювання плавким електродом більш продуктивні, ніж зварювання покритим електродом і автоматичні (роботизовані) 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.

Так, як необхідно виконувати шви у різних просторових положеннях і шви, де через конструкцію виробу затруднене утримування 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 роботизованому 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 розбризування 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 роботизованому 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.

Для зварювання відвалу бульдозера будемо застосовувати спосіб електродугового роботизованого зварювання плавким електродом в середовищі суміші газів $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. Даний спосіб зварювання обираємо тому, що в випадку зварювання рамної 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 механізації подачі зварювального дроту; менше розбризування електродного металу порівняно із способом напівавтоматичного дугового зварювання в середовищі вуглекислого газу; високоефективний захист розплавленого металу зварювальної ванни.

Широке використання роботизованого зварювання у середовищі захисних газів на заміну ручного зварювання покритими електродами зумовлене більшою продуктивністю, кращими умовами праці і меншими вимогами до кваліфікації робітників.

Перед зварюванням під флюсом його переваги полягають у можливості візуального спостереження за розташуванням електрода, відсутності операцій по утриманню і видаленню флюсу і можливості виконання швів у всіх просторових положеннях.

Саме наявність переваг автоматичного електродугового зварювання (рис. 2.6) в середовищі суміші газів CO_2+O_2 робить його найбільш раціональним при експлуатації відвалу за частих навантажень і вібраціях та дає змогу сказати, що цей спосіб є незамінним при виготовленні відвалу бульдозера.

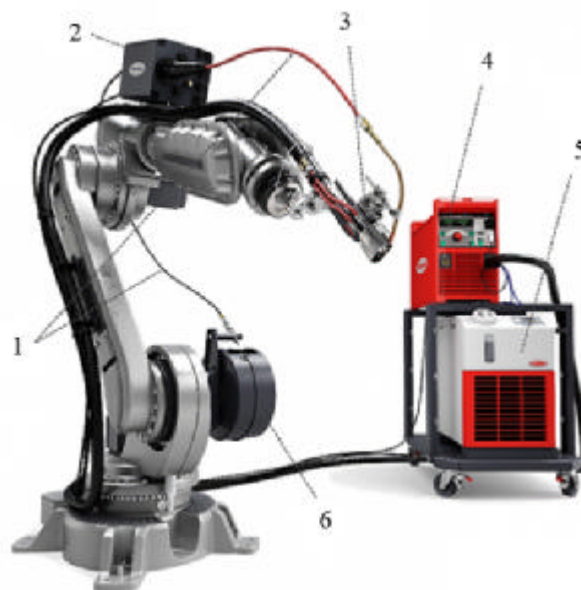


Рис. 2.6. Робот з обладнанням для зварювання

1 – направляючий канал подання дроту; 2 - механізм подання дроту; 3 – пальник;
4 - джерело живлення; 5 – блок охолодження; 6 - кожух з катушкою зварювального дроту.

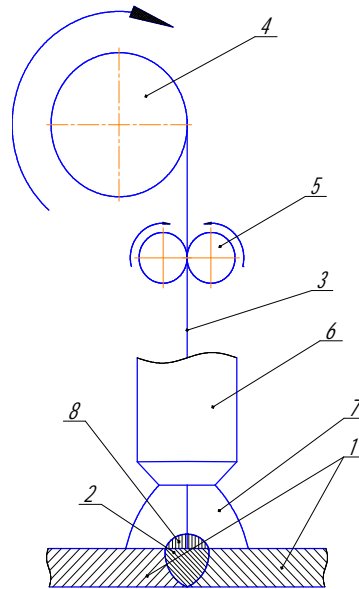


Рис. 2.7 - Схема зварювання плавким електродом у вуглекислому газі:

1- зварювані деталі; 2 - зварний шов; 3 - зварювальний дріт; 4 - котушка з електродним дротом; 5 - подаючі ролики; 6 - пальник; 7- захисний газ; 8 - зварювальна дуга

Основним недоліком при роботизованому зварюванні плавким електродом в середовищі вуглекислого газу є розбризкування металу. Для зменшення розбризкування, зварювання проводять в газових сумішах [6].

Для виготовлення конструкцій із маловуглецевих сталей використовують суміш $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. До вуглекислого газу додають кисень в кількості 20...30 %. Цим самим зменшується розбризкування, покращується форма шва та знижується вартість захисної атмосфери. В деякій мірі, також, підвищується стійкість металу, проти утворення пор викликаних воднем. Решта показників якості швів, виконаних в суміші вуглекислого газу і кисню, залишаються такими ж, як і при виконанні швів у вуглекислому газі [7].

Отже, зварювання відвалу бульдозера проводимо застосовуючи спосіб роботизованого зварювання плавким електродом в суміші газів $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. Процентний вміст кисню в даній суміші становить 30 %.

2.3 Вибір зварювальних матеріалів

До зварювальних матеріалів відносять зварювальний дріт, порошковий дріт, присаджувальний пруток, різні флюси, захисні (активні та інертні) гази.

Вказані матеріали повинні забезпечити потрібні геометричні розміри і властивості зварного шва; добрі технологічні умови ведення процесу зварювання; високу продуктивність та економічність процесу; необхідні санітарно-гігієнічні умови праці при їх виробництві та зварюванні.

Для зварювання відвалу бульдозера основними зварювальними матеріалами є– зварювальний дріт та захисні гази (вуглекислий газ та кисень).

Для захисту металу при зварюванні в захисних газах найчастіше застосовується вуглекислий газ та його суміші з іншими газами (киснем, аргонном). Це, в основному, застосовується для зварювання маловуглецевих і низьколегованих сталей.

Якість вуглекислого газу чинить значний вплив на властивості зварного шва. Вуглекислий газ, призначений для зварювання, повинен відповідати ГОСТ 8050-76, який в залежності від вмісту CO_2 передбачає два сорти зварювальної вуглекислоти: перший сорт з вмістом CO_2 не менше 99,5%, другий сорт – не менше 99%. При роботизованому зварюванні відвалу бульдозера використовуємо вуглекислий газ першого сорту.

Стальний зварювальний дріт суцільного перерізу виготовляють за ГОСТ-2246-70 і спеціальними технічними умовами. Вибір зварювального дроту залежить від матеріалу який зварюють. В більшості випадків при зварюванні маловуглецевих і низьколегованих сталей якісні шви отримують при застосуванні кремнієво-марганцевих електродних дротів Св-08ГС і Св-08Г2С, що забезпечує малу забрудненість металу шва оксидними включенням. При цьому метал шва містить до 0,12...0,14% С, не нижче 0,17...0,20% Мп і характеризується малою схильністю до утворення гарячих тріщин і достатньо високими механічними властивостями.

Вміст оксидних включень при зварюванні маловуглецевих сталей дротом Св-08ГС складає 0,014 %, а дротом Св-08Г2С – 0,009 %. Менша забрудненість металу шва оксидними включеннями при зварюванні маловуглецевих сталей дротом Св-08Г2С обумовлена більш раціональним вмістом кремнію і марганцю в металі шва (0,23 % Si , 0,72 % Mn), при якому продукти розкислення формуються у вигляді рідких силікатів.

Враховуючи сказане вище, для зварювання сталі ВСт3 обираємо зварювальний дріт марки Св-08Г2С, хімічний склад дроту приведений в таблиці 2.1.

Табл. 2.1 Хімічний склад дроту марки Св-08Г2С, % за ГОСТ 2246-70 [8]

С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
			не більше			
0,05-0,11	0,70-0,95	1,8-2,1	0,20	0,25	0,025	0,03

При виготовленні даної конструкції в якості захисного газу використовуємо суміш вуглекислого газу з киснем. Це зменшує розбризкування електродного металу, покращує формування шва.

Склад суміші, яка подається в пальник, регулюється зміною витрат газів, які входять в суміш. Витрати кожного газу регулюються окремим редуктором і вимірюється ротаметрами

2.4. Розрахунок параметрів режиму зварювання

При визначенні режиму зварювання необхідно так вибирати його параметри, щоб забезпечити отримання швів даних розмірів, форми і якості. В зв'язку з цим раціональніше проводити не вибір параметрів режиму зварювання, а їх розрахунок.

Зварювання відвалу бульдозера проводимо стиковими і кутовими швами – з катетом 4 мм.

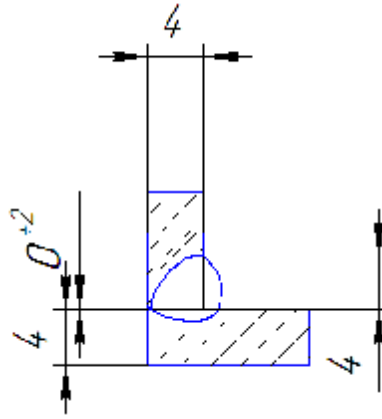


Рис. 2.8. Схема зварного з'єднання У2 за ГОСТ 14771-76

При розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно в першу чергу забезпечити отримання заданого катету шва.

Проводимо розрахунок параметрів режиму зварювання для катета 4 мм зварного шва №1.

Визначаємо площу поперечного перерізу для шва без випуклості за формулою:

$$F_H = \kappa^2 / 2, \quad [5] \quad (2.2)$$

де κ – катет шва, мм.

$$F_H = 4^2 / 2 = 8 \text{ мм}^2.$$

Висота наплавленого металу:

$$h_H = \sqrt{F_H}, \quad [5]; \quad (2.3)$$

$$h_H = \sqrt{8} \approx 2,83 \text{ мм}^2.$$

Ширину шва визначаємо за формулою:

$$e = \sqrt{2\kappa^2}, \quad (2.4)$$

$$e = \sqrt{2 \times 4^2} \approx 5,6 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальну висоту шва:

$$H = e / \psi_{np}, \quad [5] \quad (2.5)$$

ψ_{np} – коефіцієнт форми проплавлення; $\psi_{np} = (0,8 \div 4)$.

Приймаємо $\psi_{np} = 0,8$ [10];

$$H = 5,6 / 0,8 = 7 \text{ мм}.$$

Глибина проплавлення основного металу :

$$h_0 = H - h_H, [5] \quad (2.6)$$

$$h_0 = 7 - 2,83 = 4,17 \text{ мм.}$$

Визначаємо величину сили струму зварювання:

$$I_{зв} = (h_0 / K_n) \times 100, [5] \quad (2.7)$$

де K_n – коефіцієнт пропорційності що залежить від умов зварювання ,

$$K_n = 1,75, \text{ тоді :}$$

$$I_{зв} = 4,17 / 1,75 \approx 238,3 \text{ А.}$$

Приймаємо силу струму 240 А.

Визначаємо діаметр електродного дроту:

$$d_{el} = 1,33 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, [10] \quad (2.8)$$

де j – густина струму, А/мм²; приймаємо $j = 130 \text{ А/мм}^2 [10]$.

$$d_{el} = 1,33 \sqrt{\frac{240}{130}} = 1,47 \text{ мм ;}$$

Приймаємо діаметр електрода = 1,4 мм.

Напругу на дузі визначаємо за формулою :

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^3}{d_{el}^{0.5}} I_{зв}^{+1}, [10] \quad (2.9)$$

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^3}{1,4^{0.5}} 240^{+1} = 34 \text{ В }^{+1}.$$

Визначаємо швидкість подачі електродного дроту :

$$V_{n.e.} = \frac{4 \lambda_n I_{зв}}{\pi d_{el}^2 j}, [5] \quad (2.10)$$

де j – густина металу електродного дроту ($j = 7800 \text{ кг/м}^3$);

λ_n – коефіцієнт наплавлення металу, кг/А×год.

При зварюванні на постійному струмі зворотньої полярності:

$$\lambda_n = 11,6^{+0,4} \text{ г/А×год, [5].}$$

Приймаємо $\lambda_n = 12 \times 10^{-3} \text{ кг/А×год.}$

$$V_{n.e.} = \frac{4 \times 12 \times 10^{-3} \times 240}{3,14 \times 0,0014^2 \times 7800} \approx 183,7 \text{ м/год.}$$

Приймаємо $V_{н.е.}=185$ м/год.

Швидкість зварювання :

$$V_{зв} = \frac{\lambda \cdot I}{F_n \times j}, [5] \quad (2.11)$$

$$V_{зв} = \frac{12 \times 10^{-3} \times 240}{8 \times 10^{-6} \times 7800} \approx 46,2 \text{ м/год.}$$

Приймаємо $V_{зв}=46$ м/год.

Аналогічно проводимо розрахунок параметрів режиму зварювання для зварних швів №2 і №3.

Розрахункові параметри режиму роботизованого дугового зварювання відвалу бульдозера в суміші газів CO_2+O_2 зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Режими зварювання відвалу бульдозера

Номер шва	Сила струму $I_{зв}, A$	Напруга на дузі U_d, B	Діаметр дроту $d_e, мм$	Швидкість зварювання $V_{зв}, м/ГОД$	Швидкість подачі дроту $V_{п.д.}, м/ГОД$
№1	240	34	1,4	46	185
№2	125	20	1,4	14.7	92
№3	228	24	1,2	27	245

2.5 Розрахунок норм витрат зварювальних матеріалів

Нормування витрат зварювальних матеріалів здійснюється з метою встановлення їх кількості, необхідної для виготовлення зварної конструкції і забезпечити економічне витрачання і раціональне використання матеріалів у зварювальному виробництві підприємств промисловості і будівництва. Загальні правила нормування витрат, втрат і відходів зварювальних матеріалів та методи їх визначення у зварювальному виробництві встановлює ДСТУ 3159-95 "Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні

вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання" [13].

Технічна норма витрат матеріалів – це мінімальна кількість матеріалів, необхідна для виготовлення даного виробу у відповідності з технічними умовами [10].

В залежності від маси наплавленого металу, визначаємо витрати електродного дроту за формулою [11]:

$$Q = a \cdot F \cdot L \cdot \gamma, \quad (2.12)$$

де a – коефіцієнт витрат електродного дроту на угар, розбризкування, $a = 1,15$;

F - площа поперечного перерізу шва, м^2 ;

L - довжина шва, м.

Довжина всіх швів з катетом $K=4$ мм становить 8,32 м.

Тоді

$$Q = 1,15 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 8,32 \cdot 7800 = 0,6 \text{ кг.}$$

Нормування витрат захисного газу на виріб визначаємо за формулою [11]:

$$H = Q_{\Gamma} \cdot L + Q_{\text{доп}}, \quad (2.13)$$

де Q_{Γ} – питома норма витрат газу на 1 м шва, л;

L – довжина шва, м;

$Q_{\text{доп}}$ – додаткові витрати газу на підготовчо-завершальні операції: продування газових комунікацій перед початком зварювання, захист зварювальної ванни після закінчення зварювання, $Q_{\text{доп}}=0,8$ л.

Питома норма витрат газу обчислюємо за формулою [12]:

$$Q_{\Gamma} = q_2 \cdot t_0, \quad (2.14)$$

де q_2 – витрати захисного газу, л/хв;

t_0 – основний час зварювання 1 м шва, хв/м.

Основний час зварювання визначаємо за формулою [12]:

$$t_0 = \frac{60}{V_{3\phi}}, \quad (2.15)$$

де $V_{3\phi}$ – швидкість зварювання, м/год;

Основний час зварювання шва з катетом $K=4$ мм:

$$t_0 = \frac{60}{46} = 1,3 \text{ год.}$$

Питома норма витрат газу на 1 м шва з катетом $K=4$ мм:

$$Q_r = (16 \cdot 1,3) = 20,8 \text{ л/м.}$$

Отже, норма витрат захисного газу рівна:

$$H_r = 20,8 \cdot 8,32 + 0,8 = 173,8 \text{ л.}$$

Витрати електроенергії на погонну довжину шва 1м при механізованому зварюванні визначаємо за формулою [10]:

$$A = \frac{0,001 \cdot U_{\partial} \cdot I_{зв}}{\eta \cdot V_{зв}}, \quad (2.16)$$

де U_{∂} – напруга на дузі, В;

$I_{зв}$ – сила зварювального струму, А;

η - коефіцієнт корисної дії установки;

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, м/год.

При виконанні швів з катетом $K=4$ мм:

$$A = \frac{0,001 \cdot 29 \cdot 240}{0,75 \cdot 46} \approx 0,20 \text{ (кВт·год)/м.}$$

2.6 Вибір основного зварювального обладнання

При роботизованому зварюванні механізована тільки операція подачі електродного дроту і переміщення дуги вздовж зварювального шва здійснюється автоматично. Високі експлуатаційні властивості сучасних зварювальних роботів досягаються за рахунок застосування електродного дроту, який подається до електричної дуги по гнучкому направляючому рукаві, який дозволяє розмістити відносно важкі механізми для подачі дроту на значній віддалі від зони зварювання, де розташований тільки робочий орган – зварювальний пальник.

При зварюванні тонким дротом на великих густинах струму (до 200 А/мм²) процес саморегулювання дуги відбувається надзвичайно інтенсивно. Це

Спеціалізація: Універсальний

Тип зап'ястя: Класичне зап'ястя

Кількість осей робота: 6

Досяжність: 2005 мм

Вантажопідйомність: 70 кг

Точність\повторність: 0.07 мм

Вага маніпулятора: 560 кг

Країна-виробник: Японія

Для запуску контролера R-30iA потрібно менше 1 хвилини (і навіть менше – лише базового програмного забезпечення). У разі збою харчування:

Програма Robot перезавантажується набагато швидше, ніж із будь-якою програмою на базі ПК (без операційної системи Windows).

Функція відновлення гарячого старту дозволяє відновити безпечно та безперервне виробництво після збою живлення: не потрібно повторно виконувати весь рух.

Унікальна перевірка допуску до перенесення: у разі переривання програми робот автоматично запам'ятовує свою позицію. Коли програма продовжується, вона перевіряє, чи був робот переміщений за межі заданого допуску. Це дозволяє уникнути несподіваних рухів та зіткнень.

Джерело живлення складається з трансформатора із нормальним магнітним розсіюванням і трьохфазного дроселя насичення. Робочі обмотки дроселя включені в випрямний блок. Регулювання вихідної напруги ступінчасто – плавне. Випрямляч має дистанційне керування. Використання випрямлячів більшої потужності з аналогічною зовнішньою характеристикою буде економічно не ефективно через великі енерговитрати.



Рис. 2.10. Загальний вигляд робота FANUC 710iC-50

Для механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу відкритою дугою при постійній швидкості подачі дроту застосовують джерела живлення з пологопадаючою зовнішньою характеристикою. Зварювання у вуглекислому газі при малих струмах і напрузі протікає з частими короткими замиканнями (до 10-100 в сек.). У цих умовах пологопадаюча характеристика забезпечує надійне запалення дуги, підвищує її саморегулювання і стабільність процесу зварювання на стадіях запалення, горіння дуги і короткого замикання. Для зменшення розбризкування розплавленого металу використовують дросель, включений в ланцюг випрямленого струму. Дросель уповільнює наростання струму в первинній фазі короткого замикання, що дозволяє краплі розплавленого металу на торці електродного дроту злитися з ванною розплавленого металу на виробі з

утворенням рідкої перемички. При правильному підборі індуктивності дроселя розбризкування металу при механізованому зварюванні в CO₂ значно знижується.

2.7 Вибір зварювальної оснастки

Призначенням складально-зварювального оснащення є:

- 1) дотримання необхідної точності розмірів, геометрії та взаємного розташування деталей і вузлів для виготовлення зварних виробів;
- 2) Зменшення ручної праці, пов'язаної зі складанням і зварюванням виробів;
- 3) Підвищення продуктивність праці;
- 4) Зменшення складності позиціонування деталей;
- 5) Скорочення час виробничого циклу;
- 6) Поліпшення умов праці шляхом механізації ручної праці;
- 7) Зниження частки некваліфікованої праці;
- 8) Зниження вартості виготовлення зварних виробів;
- 9) Розширення технічних можливостей зварювальних апаратів;
- 10) Підвищення якості зварних виробів та забезпечення їх взаємозамінності;
- 11) Підвищення рівня комплексної механізації та автоматизації при виготовленні зварних конструкцій.

Процес складання та зварювання виробів містить складання та зварювання окремих компонентів, а також збирання виробу загалом. За складністю зварювальних виробів їх поділяють на складальні одиниці, що дозволяють використовувати передові технології складання та зварювання на основі модернізації існуючих технологій, стандартних застосувань та розробки нового технічного обладнання.

Монтажно-зварювальне обладнання повинно забезпечувати:

- задане позиціонування;
- точність складання в межах допуску, зазначеного на кресленні;

- безперешкодний доступ на ділянку та до місця зварювання;
- найбільш сприятливий спосіб монтажу та послідовність зварювання;
- надійну фіксацію зварюваних виробів;
- можливість зварювання в нижньому положенні;
- швидкий відвід тепла з зони зварювання;
- зменшення деформації зварного шва та залишкових напружень в з'єднаннях;
- захист всіх монтажних поверхонь;
- надійний захист основних компонентів і складових зварювального робота, силових компонентів і корпусів пристроїв від розбризкування зварювальних швів;
- необхідну міцність і жорсткість компонентів обладнання;
- уникнення заклинювання затискного механізму під дією зварювальної деформації;
- вільно знімання (витягування) зварених конструкцій;
- технічне обслуговування (заміну витратних матеріалів та можливість обслуговування, ремонту);
- технологічність обладнання;
- безпеку експлуатації (наявність самогальмуючого пристрою тощо);
- широке використання стандартних, стандартизованих і поширених деталей, компонентів і механізмів, що сприяє зниженню витрат, проектування та виробництва.

Прикладом обладнання, що відповідає вищевказаним вимогам є пристрої для складання та зварювання відвалів бульдозерів. Вони являють собою монтажне пристосування з достатньою жорсткістю для складання та зварювання відвалів бульдозерів. Їх не потрібно постійно контролювати, чи відповідають розміри зварюваних деталей вимогам за кресленням. Дотримання цих розмірів досягається за рахунок спеціального розташування затискачів і надійного кріплення вузлів в пристрої.

Кондуктор являє собою поворотну раму 1 з балками 2, призми 3, відкидними упорами 4, стояками 6, вилками 7, пневмосистемою 8 та притискачами 9. Загальний вигляд кондуктора для зварювання відвалу бульдозера приведений на рис. 2.11.

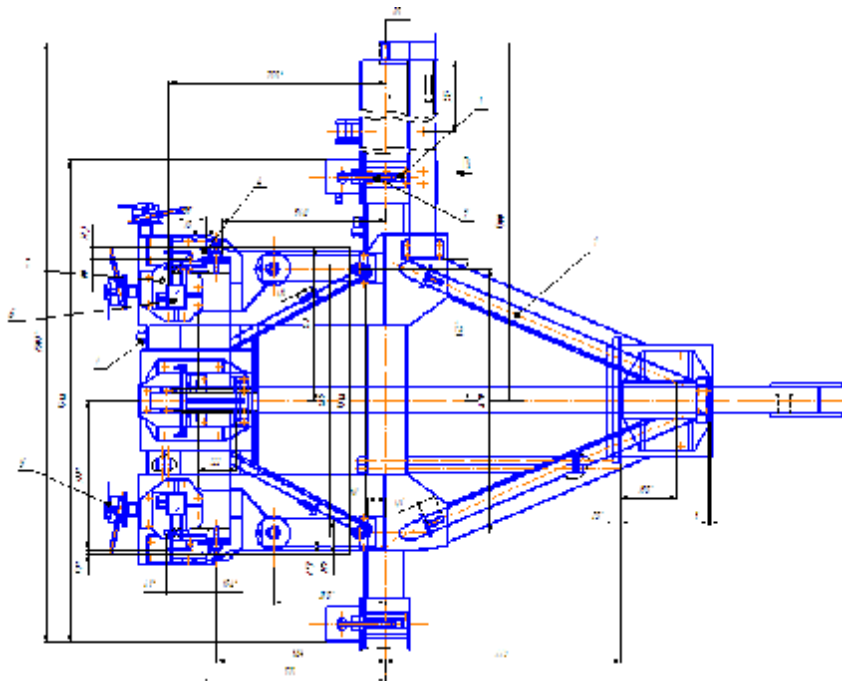


Рис. 2.11. Загальний вигляд кондуктора для зварювання відвалу бульдозера

Для виготовлення планера відвалу бульдозера будемо використовувати пристосування зображене на рисунку 2.12.

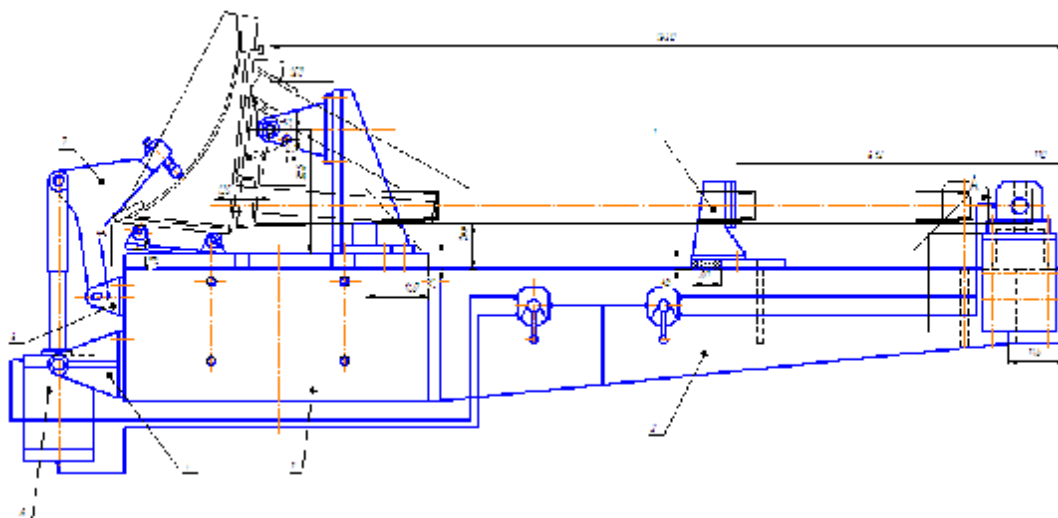


Рис. 2.12. Пристосування для виготовлення планера відвалу бульдозера

Пристосування для складання планера складається з таких складальних одиниць: боковин 1, основи 2, упорів 3, кронштейнів 4, опори 5, притискачів 6, затискного пристрою 7, а також пневмосистеми 8.

Пристосування для виготовлення планера відвалу бульдозера призначене для фіксації та закріплення заготовок зварюваного виробу або його вузлів та забезпечення регламентованої точності і якості зварюваних виробів.

Основа пристосування (рис. 2.13) є елементом, який об'єднує в одну конструкцію всі частини пристосування. На основі розташовуються опорні і направляючі деталі, упори та опори, які визначають положення деталей виробу, кронштейни та фіксатори. Основа сприймає масу виробу і всі зусилля, що виникають в процесі складання і зварювання, при цьому вона повинна забезпечити точність розташування складених деталей та володіти достатньою міцністю і жорсткістю.

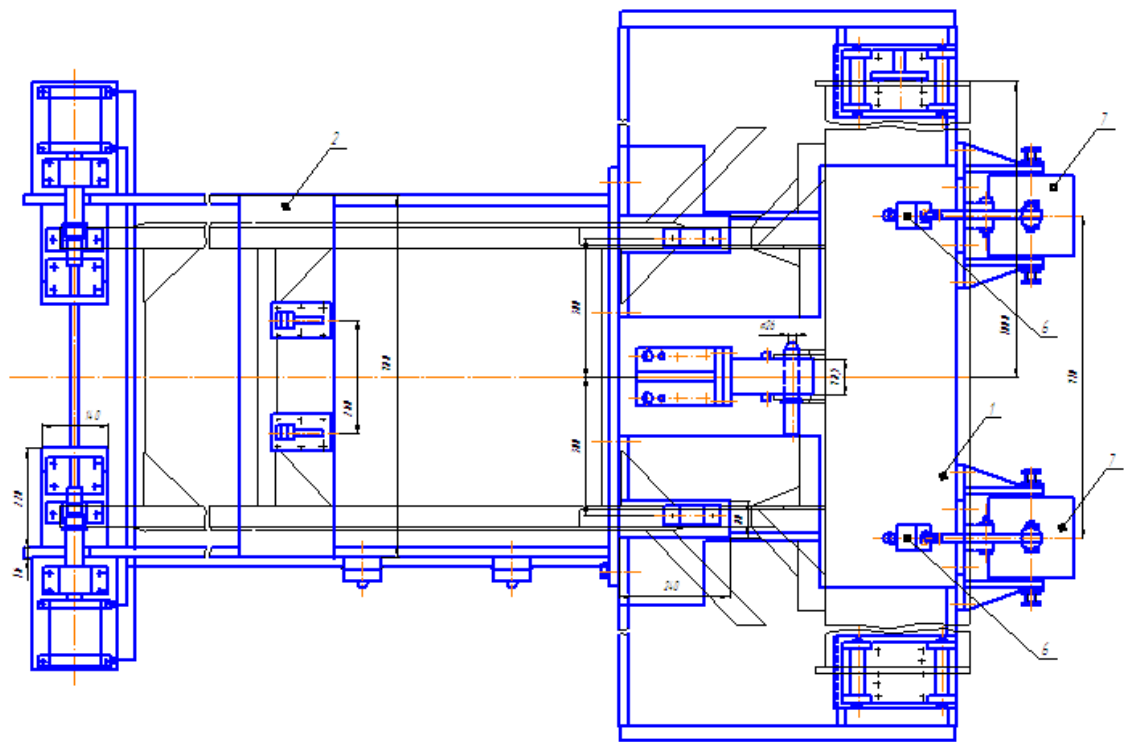


Рис. 2.13. Пристосування для виготовлення планера відвалу
бульдозера

Форма і розміри основи залежать від конфігурації виробу, який складається в пристосуванні, а також від типу і розташування фіксуючих, затискних та направляючих елементів (рис. 2.14).

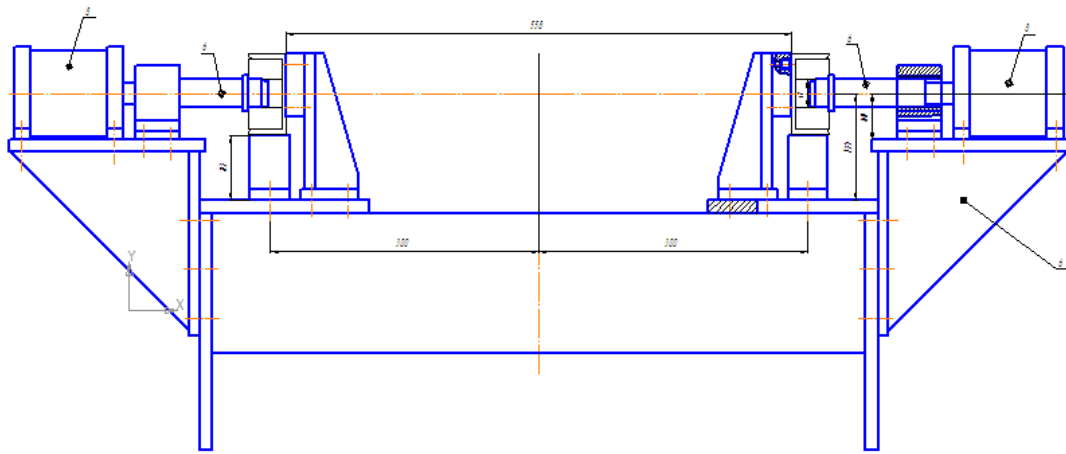


Рис. 2.14. Розміщення фіксуючих елементів пристосування для складання відвалу

Установчі деталі пристосування для зварювання планера забезпечують правильну орієнтацію деталей у відповідності з правилом шести точок. Схема пристосування яке використовується при виготовленні даної конструкції забезпечує необхідну послідовність складально-зварювальних операцій. Деталі конструкції складаються в пристосування, виставляються по упорах та фіксаторах, а потім закріплюються (рис. 2.15). Затискний механізм служить для надійного закріплення установлених у пристрої заготовок, деталей, складальних одиниць відповідно з вимогами технологічної документації в процесі всього періоду складання та зварювання.

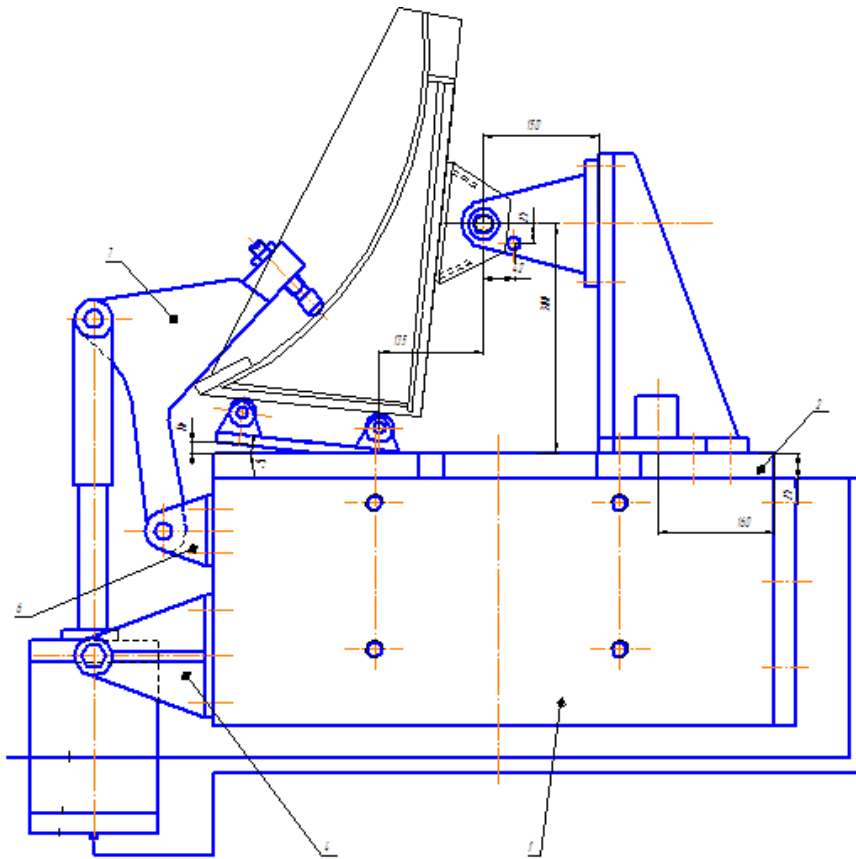


Рис. 2.15. Пристосування для складання планера бульдозера

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;
- е) 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.

З допомогою підіймально-транспортного обладнання в складально-зварювальному виробництві здійснюється навантаження, транспортування, розвантаження, а також кантування заготовок, деталей, вузлів та готових виробів на всіх стадіях технологічного процесу.

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 підіймально-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.

Підіймально-транспортне обладнання можна розділити на дві основні групи: вантажопідіймальні 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 кнопочового 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 відвалу бульдозера, 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].

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вимоги до складальних пристосувань

Під час виготовлення зварних конструкцій складальне устаткування має забезпечувати:

- 1) просторове розміщення деталей і вузлів в зварюваній конструкції, виключаючи підгоночні роботи;
- 2) точність складання в межах допусків, встановлених конструкторською документацією і технічними умовами;
- 3) зручність в експлуатації, включаючи доступ до місць установаження деталей та вузлів, до місць накладення прихоплювань і зварних швів, до затискних пристроїв та пристроїв керування, зручність пози виконавця, мінімізацію його нахилів і переміщень;
- 4) задану послідовність складання та порядку накладання зварних швів у відповідності до вимог технологічних процесів;
- 5) надійне закріплення зварюваного виробу силовими притискачами (гвинтовими, пневматичними, гідравлічними тощо) з використанням самогальмуючих елементів, якими попереджається довільне розкріплення зварюваного виробу під час маніпуляцій; для запобігання заклинювання нарізних затискних елементів під час їх нагрівання в процесі зварювання різьба силових елементів повинна бути неповного профілю (прослабленою); ексцентрикові затискні елементи мають бути винесені із зони розповсюдження зварювальних бризок;
- 6) надійний захист всіх базових і установлювальних поверхонь від механічних впливів, попадання на них і прилипання пилу, бруду, вологи, флюсу, шлаку, бризок металу; нарізні елементи складального устаткування, які працюють в зоні прихоплювання-зварювання повинні мати захисні кожухи або закриватися ковпаковими гайками; можливість ефективного очищення і прибирання базових і установочних поверхонь від шлаку і флюсу;

- 7) достатню міцність і жорсткість для збереження складових елементів зварюваної конструкції в необхідному положенні без деформування їх під час зварювання; фіксація зварюваного виробу повинна забезпечувати можливість зміщення під час зварювання, так як жорсткість закріплення, як правило, сприяє появі тріщин і викривлення через температурні і усадочні напруження;
- 8) можливість переважного використання в конструкції складального устаткування типових, уніфікованих, нормалізованих і стандартних деталей, вузлів і механізмів (для зниження собівартості устаткування, достатньої ремонтпридатності тощо); можливість заміни швидкозношуваних елементів устаткування для відновлення функцій забезпечення необхідної точності складання;
- 9) можливість складання зварюваної конструкції з одного установлення, мінімізацію переміщень і обертань під час складання і прихоплювання (зварювання), а також вільне знімання складеної і звареної (прихопленої) конструкції або монтажних пристроїв;
- 10) ефективне відведення теплоти від місць інтенсивного нагрівання під час зварювання для зниження зварювальних деформацій;
- 11) можливість зварювання переважно в нижньому положенні, створення заданих переміщень і обертань зварюваної конструкції, вільне установлення наступних елементів зварюваної конструкції за послідовного складання-зварювання;
- 12) високу технологічність конструкції складального устаткування та його деталей і вузлів;
- 13) ефективне використання засобів механізації операцій завантаження, подавання, встановлення деталей і вузлів, а також зняття, виштовхування і вивантаження складеної конструкції, можливість застосування інших засобів комплексної механізації;
- 14) можливість оснащення засобами захисту (вентиляції та інших засобів техніки безпеки).

Використання спеціальних складальних пристосувань дозволяють покращити умови праці і покращити якість складання. Основою складального пристосування є жорсткий каркас з упорами, фіксаторами і притискачами. Фіксація складальних деталей найчастіше за все здійснюється прихопленням. В такому вигляді складальний вузол повинен володіти такою жорсткістю, яка необхідна при знятті його із складального пристосування і транспортування до місця зварювання, а також для зменшення зварювальних деформацій.

При використанні складально-зварювального пристосування, зварювання виконують після складання, не виймаючи виріб із пристосування, тому в таких випадках можна обійтись без прихоплень.

При виконанні тих чи інших швів, положення виробу в процесі зварювання доводиться змінювати. Це здійснюється за допомогою пристосувань: позиціонерів, обертачів, кантувачів, роликів, стендів, маніпуляторів.

Пристосування можуть бути:

- встановлювальні, що встановлюють вироби в зручне положення для зварювання;
- зварювальні, забезпечують крім зварювання виробу його переміщення зі швидкістю, рівною швидкості зварювання.

Використання того чи іншого типу складально-зварювальних пристосувань визначається конструкцією виробу, прийнятою технологією виготовлення і програмою випуску.

Вихідними даними для проектування складально-зварювальних пристосувань служать креслення деталей і виробів в цілому, технічні умови на виготовлення і приймання виробу, а також програма випуску. Вибір і розробка пристроїв (пристосувань) є одним із технічних підготовчих етапів роботизованого зварювання. Розроблення нового обладнання або модернізацію існуючого виконували на основі [16]:

-вивчали креслення та технічні умови зварної конструкції. При проектуванні зварних виробів важливим є оцінювання їх технологічності. Тому

зазвичай при проектуванні технологічного процесу, виборі та проектуванні зварювального пристрою технологічність була одним з параметрів вибору зварювального робота.

Особливу увагу звертали на розташування деталей, точність заготовки та обробку її поверхні в складі конкретної складальної одиниці, зварного шва. Розташування деталей забезпечило легкість збирання під час процесу складання та розбирання виробу, а також гарантований доступ др місць затиску та зварювання. Технічна конструкція зварювального робота забезпечила використання для виробництва більш простих та дешевих пристроїв.

Процес складання та зварювання конструкції розроблено на рівні електропроводки або процесу розгортання та ретельно досліджений конструктором установки.

При технічному обґрунтуванні аналізували: прогресивність пристосувань (продуктивність, механізацію, раціональність апаратури і обладнання, можливість забезпечення якості, трудомісткість, умови праці і техніки безпеки, забрудненість середовища і таке інше); тривалість виробничого циклу; габарити і масу пристосувань, площі і об'єм виробничих приміщень; необхідну кількість робітників; питому продуктивність; завантаження обладнання; вид і кількість відходів; витрати енергії та матеріалів.

При економічному обґрунтуванні доцільності застосування того чи іншого пристосування необхідно порівняти капітальні витрати на виробництво виробів та собівартості їх, визначити річний економічний ефект та термін окупності капітальних вкладень [16].

Враховуючи вищенаведені вимоги та особливості технологічного процесу, для виготовлення відвалу використовуємо зварювальний кондуктор та пристосування для складання планера. При цьому, слід мати на увазі, що зварювання проводиться безпосередньо після складання, зварювальна конструкція не зазнає переустановлень і проміжного транспортування, отже якість зварювання буде вищою.

3.2. Схема механічного притискового пристосування

Принципову схему затискного пристосування можна проаналізувати за наступною схемою:

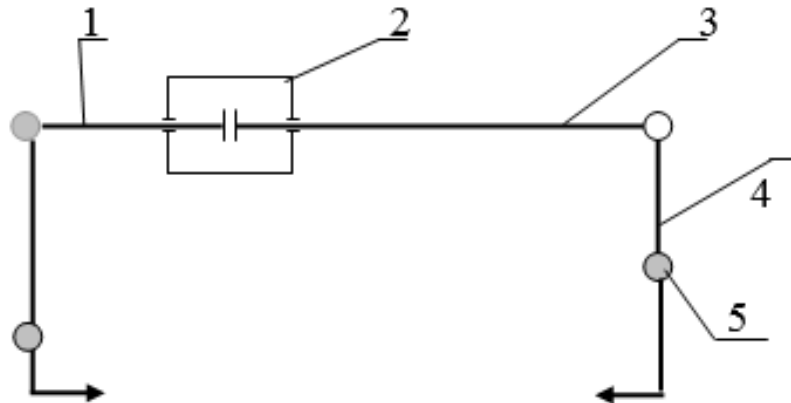


Рис. 3.1. Схема затискного пристосування: 1 – вилка; 2 – пневмоциліндр; 3 – вилка; 4 – планка; 5 – вісь.

З магістральної мережі повітря під тиском подається у пневмоциліндр двосторонньої дії 2. Циліндр створює тягове зусилля, яке через вилку 3 передається на планку 4, яка рухається під дією цього ж зусилля.

3.3 Розрахунок важільного механізму затискного пристосування

Зусиллям $R_{ст}$, що розвивається пневмоциліндром, створюється обертовий момент M_1 . Величина цього моменту рівна і у другій частині важільного механізму, тому враховуючи співвідношення довжин плеч важеля можна визначити затискне зусилля R_c на клинах механізму.

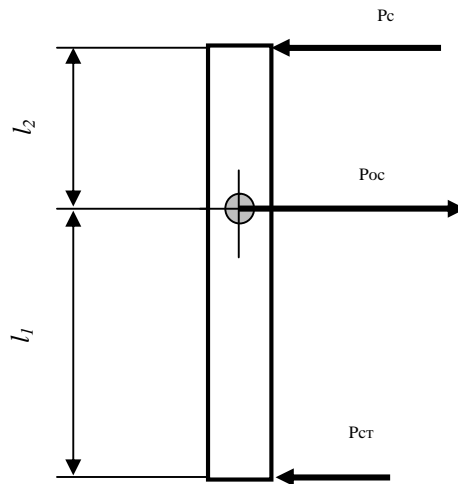


Рис. 3.2. Розрахункова схема затискного пристосування

Вихідні дані для розрахунку:

Зусилля затискання, Н - $P_{st} := 6 \cdot 10^3$

Довжина плеча, м - $l_1 := 140 \cdot 10^{-3}$

Довжина плеча, м - $l_2 := 50 \cdot 10^{-3}$

Робочий діаметр пневмоциліндра, м - $D := 90 \cdot 10^{-3}$

Зусилля $P_{ст}$, що розвивається пневмоциліндром, створює обертовий момент M . Оскільки $P_{ст}=P_{зр}$, то можна визначити зусилля циліндра H :

$$P_c := \frac{P_{st} \cdot l_1}{l_2} \quad P_c = 1.68 \times 10^4 \quad (3.1)$$

Значення обертового моменту M , Н·м:

$$M := P_c \cdot l_2 \quad M = 840 \quad (3.2)$$

Враховуючи, що $\sum_x F_x = 0$ та $\sum_y F_y = 0$ знаходимо P_{oc} (Н) –

зусилля, яке діє на осі планки:

$$P_{oc} := P_{st} + P_c \quad P_{oc} = 2.28 \times 10^4 \quad (3.3)$$

Для визначення глибини загвинчування стержня вилки в планку, запишемо умову рівномірності різьби на зріз і стержня на розтяг у вигляді:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot D_1 \cdot H \cdot K \cdot K_m} = 0.6 \cdot \sigma_T = \frac{0.24 \cdot F}{\pi \cdot D_1^2} \quad (3.4)$$

Звідси при $K = 0.87$ і $K_m = 0.6$ отримуємо:

$$H = 0.8 \cdot D_1$$

де D_1 - внутрішній діаметр різьби стержня, м- $D_1 := 25 \cdot 10^{-3}$

$$H := 0.8 \cdot D_1$$

$$H = 0.02$$

Враховуючи, що осі планки матимуть суттєвий вплив на габаритні розміри планки перевіряємо умови міцності осі на зріз та зминання.

Матеріал осі планки – Сталь 20. $\sigma_b := 490$

$$\tau_{zr} := 0.2 \cdot \sigma_b \cdot 10^6 \quad \tau_{zr} = 9.8 \times 10^7 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{zm} := 0.5 \cdot \sigma_b \cdot 10^6 \quad \sigma_{zm} = 2.45 \times 10^8$$

Оскільки в даному механізмові є дві осі, то і розраховуємо два діаметри осей з умови забезпечення міцності на зріз, м:

$$d_{zr1} := \sqrt{\frac{2 \cdot P_{st}}{\pi \cdot \tau_{zr}}} \quad d_{zr1} = 6.243 \times 10^{-3} \quad (3.6)$$

$$d_{zr2} := \sqrt{\frac{2 \cdot P_{oc}}{\pi \cdot \tau_{zr}}} \quad d_{zr2} = 0.012 \quad (3.7)$$

Приймаємо $d_1 = 8$ мм $d_2 = 15$ мм

Враховуючи результати попереднього розрахунку, приймаємо товщину пластини, м:

$$s := 10 \cdot 10^{-3}$$

Визначаємо діаметри осей з умови забезпечення міцності на зминання,

м:

$$d_{zm1} := \frac{P_{st}}{\sigma_{zm} \cdot s} \quad d_{zm1} = 2.449 \times 10^{-3} \quad (3.8)$$

$$d_{zm2} := \frac{P_{oc}}{\sigma_{zm} \cdot s} \quad d_{zm2} = 9.306 \times 10^{-3} \quad (3.9)$$

Вибираємо найбільше розрахункове значення діаметрів осей
приймаємо значення діаметрів осей, м:

$$d_1 := 0.01 \quad d_2 := 0.015 \quad (3.10)$$

Визначаємо площу зрізу пластини, м²: $d := 0.015$

$$F_{zr} := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad F_{zr} = 1.767 \times 10^{-4} \quad (3.11)$$

де d - діаметр пальця в м.

Для уникнення надрізу пластини у критичному січенні, в зоні де розміщена вісь необхідно визначити мінімально допустиму товщину перемички і привести габаритний розмір пластини до нормального значення.

Величина пластини перемички у критичному січенні з умови забезпечення міцності на зріз визначається:

$$t_{zr} := \frac{P_{oc}}{\tau_{zr} \cdot s} \quad t_{zr} = 0.023 \quad (3.12)$$

Приймаємо товщину пластини між отвором осі та краєм пластини, м:

$$t := 0.045$$

Приймаємо товщину пластини, м:

$$t_{pl} := 2 \cdot t + d \quad t_{pl} = 0.105 \quad (3.13)$$

Перевіряємо міцність пластини на розтяг-стиск:

$$\sigma_{drpl} := 0.4 \cdot \sigma_b \cdot 10^6 \quad \sigma_{drpl} = 1.96 \times 10^8 \quad (3.14)$$

Дійсний момент інерції перерізу становить:

$$J_z := \frac{s \cdot t p l^3 - s \cdot d^3}{12} \quad J_z = 9.619 \times 10^{-7} \quad (3.15)$$

Визначаємо віддаль від осі інерції пластини до найбільш віддаленої точки, м:

$$y_{\max} := \frac{t p l}{2} \quad y_{\max} = 0.053 \quad (3.16)$$

Визначаємо величини деформації обох кінців пластини. Модуль Юнга першого роду для вибраної марки сталі пластини становить:

$$E := 2.1 \cdot 10^{11}$$
$$F_1 := \frac{P_c \cdot (l_1)^3}{3 \cdot E \cdot J_z} \quad F_1 = 7.607 \times 10^{-5} \quad (3.17)$$

$$F_2 := \frac{P_{st} \cdot (l_2)^3}{3 \cdot E \cdot J_z} \quad F_2 = 1.238 \times 10^{-6}$$

Визначаємо величину кута повороту обох кінців пластини:

$$\Theta_1 := \frac{P_{st} \cdot (l_1)^2}{3 \cdot E \cdot J_z} \quad \Theta_1 = 1.941 \times 10^{-4} \quad (3.18)$$

$$\Theta_2 := \frac{P_c \cdot (l_2)^3}{3 \cdot E \cdot J_z} \quad \Theta_2 = 3.465 \times 10^{-6}$$

Лазерна система спостереження Smart Laser Pilot «Metal Vision Systems» (Великобританія) призначена за положенням осі зварного шва в горизонтальній та вертикальній площинах, а також вимірювання та контролю їх геометричних розмірів.

3.4. Вибір систем відеоспостереження за формуванням та геометрією зварного шва

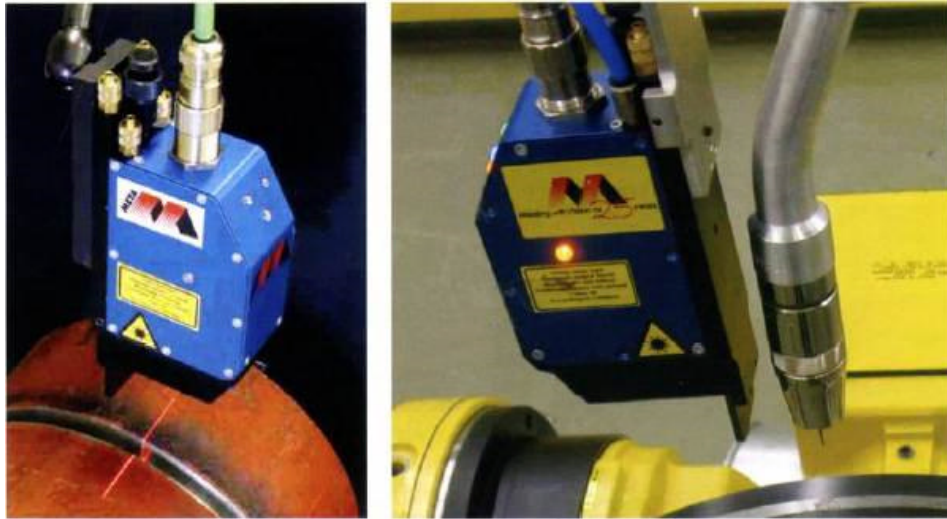


Рис. 3.3. Лазерна камера METSLS 050 відслідковує геометрію шва

Система спостереження містить лазерний сенсор SLS-050, який встановлюють на маніпуляторі робота безпосередньо перед газовим пальником та відстані 60-70 мм від зварювальної ванни, інтерфейсного модуля лазерного датчика, призначеного для обробки даних, які надходять з лазерного сенсора та передавання їх в контролер робота, графічного пристрою введення-виведення.

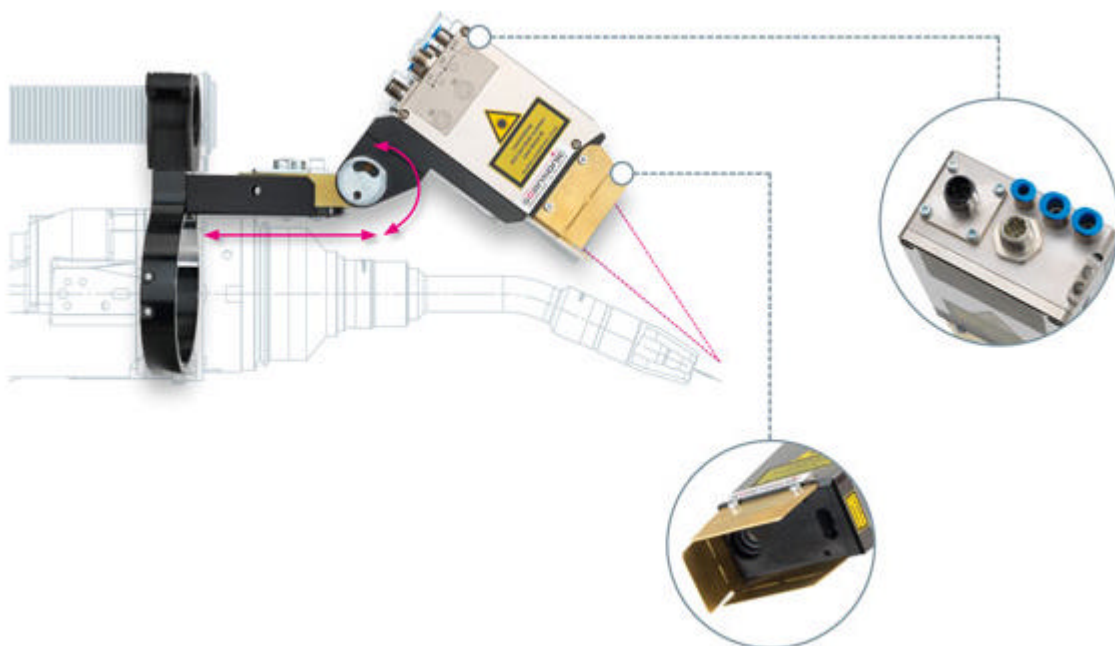


Рис. 3.4. Схема встановлення датчика.

Переваги оптичної системи:

Універсальність:

- підходить для всіх стандартних форм шва;
- може бути використана для всіх стандартних поверхонь, особливо таких, що мають глянцевою поверхню, зокрема алюмінію та нержавіючої сталі;
- інтегрується з усіма відомими системами управління роботами

Точність:

- точне визначення шва та точне центрування головки датчика щодо шва завдяки використанню трилінійного лазера;
- надійність процесу контролю;
- висока стабільність вимірювання даних;
- корекція у реальному часі.

Стійкість

- Захист від бризок із вбудованим повітряним очищенням захисного скла та повітряне охолодження давача;
- наявність захисного корпусу;
- оптичний фільтр для запобігання спотворенню результатів;
- захищена від дії електричних полів.

Технічні характеристики:

Кількість ліній вимірювання: 3

Робоча відстань: 150 мм

Частота: 60 - 240 Hz

Габарити (ШхВхГ): 70 x 40 x 100 мм

Температура довкілля: 10°C до 45°C/

3.5. Морфологія поверхні руйнування та вимірювання її параметрів

Вимірювання ямок в'язкого відриву в металевих сплавах і зразок відіграє важливу роль для контролю якості. Було встановлено, що механічні властивості зразка кращі, коли розмір зерна зменшується. Таким чином, склад та обробку сплаву необхідно ретельно контролювати, щоб отримати

бажаний розмір ямок та зерен. Після металографічної типової підготовки, зерна і ямки в певному сплаві часто аналізують за допомогою мікроскопії, де розмір і розподіл цих об'єктів може продемонструвати цілісність і якість зразка. Наприклад, автомобільний виробник вивчає розмір і розподіл ямок та зерен зокрема сплаву, щоб визначити, як недавно розроблений автомобільний компонент буде витримувати в екстремальних умовах. Виробнику аерокосмічних компонентів потрібно приділити пильну увагу до цих характеристик компонента алюмінію, використовуюваного в шасі комерційного літака. На додаток до аналізу цих розмірів та розподілу тенденції, суворі процедури внутрішнього контролю якості можуть вимагати, щоб ці результати добре документовані і архівовані для подальшого використання. Метою нашої роботи є вдосконалення існуючих методів вимірювання ямок в'язкого відриву на фрактографічних зображеннях.

При реалізації навантаження зразків статичним розтягом керування машиною здійснювалось в ручному і в автоматичному режимі шляхом задання керуючої програми з ПК.

Сервогидравлічна випробувальна машини СТМ-100 була підключена до ноутбука за допомогою базового модуля MTL32 BaseModule. У ньому попередньо задавали параметри випробувань та обмежень, зокрема:

- аварійні граничні значення каналів;
- коефіцієнти регулювання, як апаратні так і програмні;
- параметри, ЦП/ЦАП;
- лічильники, і т.ін.
- задання «0».

MTL32 BaseModule забезпечує виведення поточного (в режимі он-лайн) значення контрольованої величини, у цифровому, а за необхідності й у графічному вигляді.

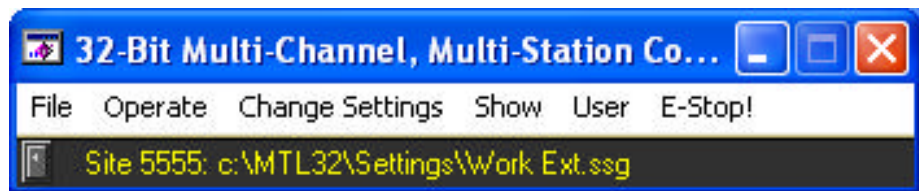


Рис. 3.5. Інтерфейс програми MTL32 BaseModule

Експериментальне деформування / руйнування наплавки проводили у модулі Test Builder. Цей модуль забезпечив можливість проведення випробувань за кількома основними режимами:

- Function Generator** (циклічне деформування);
- FatigueTest** (багатоциклові випробування на втому);
- StaticTest** (статичне та квазістатичне навантаження);
- Multi Step Programming** (реалізація/програмування складних послідовностей навантаження).

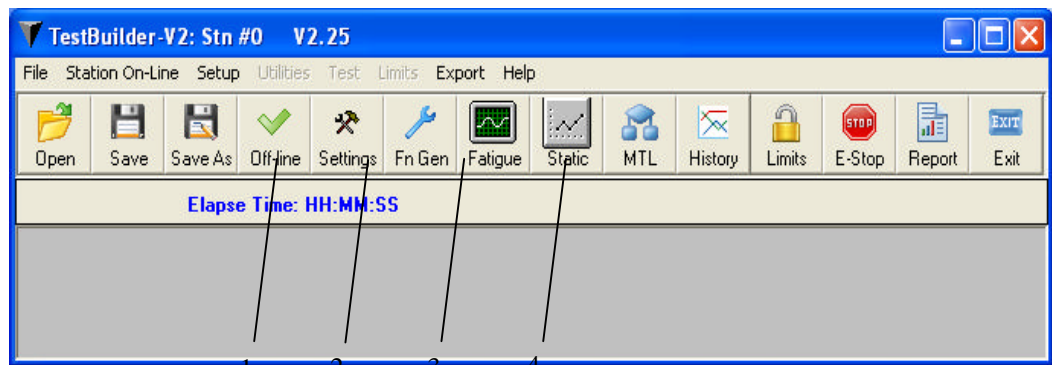


Рис. 3.6. Загальний вигляд інтерфейсу програми TestBuilder:

- 1 – Function Generator (функціональний генератор);
- 2 – Fatigue Test (втомні випробування);
- 3 – Static Test (Статичні випробування);
- 4 – Multi Step Programming (Багатостадійне програмування).

Під час проведення експерименту керували за одним з трьох каналів: переміщення, зусилля, або деформація. Попередньо фіксували задаючі обмеження, за керуючим каналом, а також за каналами запису. Для каналів запису задано граничні переміщення, зусилля та/або деформацію.

Задається тип прикладеного навантаження керуючого каналу, час, упродовж яких реалізується програма.

Цей програмний пакет дозволяє виводити отримані дані у форматі MICROSOFTEXCEL.XLS

Тест конфігурації містить наступні кроки:

- 1-запуск конфігурації даних в MTL32 BASEMODULE;
- 2-запуск TESTBUILDER, вибравши потрібного тестового режиму;
- 3- підготовка файлу, результати якого будуть відновлені і випробувані;
- 4-керування навантажувальним каналом за заданими параметрами;
- 5-експеримент.

Після того, як програма відпрацює протягом години, поточні результати переглядали на дисплеї ПК, виводили графік на екран відповідно до записаних результатів тесту.

Мікрогеометрію руйнування зразків досліджували на скануючому електронному мікроскопі PEM-106I виробництва VAT SELMI. Мікроскоп призначений для вимірювання лінійних розмірів і параметрів мікрорельєфу поверхні топологічних елементів різних об'єктів, а також вимірювання масової частки елементів методом рентгенівського мікроаналізу.

Основні технічні характеристики електронного скануючого мікроскопу PEM-106I:

- діапазон зміни збільшення, крат..... 15 – 300000
- діапазон регулювання прискорюючої напруги, кВ 0,5 – 30
- регулювання прискорюючої напруги:
 - в діапазоні від 0,5 кВ до 5 кВ..... дискретно через 0,1 кВ
 - в діапазоні від 5 кВ до 30 кВ..... дискретно через 1 кВ
- діапазон вимірювання лінійних розмірів, мкм 0,2 – 5000
- границі допустимої основної похибки лінійних розмірів, не більше:
 - в діапазоні від 0,2 мкм до 0,8 мкм, нм 40
 - в діапазоні від 0,8 мкм до 5000 мкм, % ± 4
- граничний залишковий тиск в колоні мікроскопа, Па $\leq 6,7 \times 10^{-6}$
- час відкачування колони мікроскопа від атмосферного тиску до тиску $6,7 \times 10^{-6}$, хв. ≤ 30
- час зміни об'єкту, хв ≤ 10
- діапазон регулювання тиску в низько вакуумному режимі, Па 1 – 270
- універсальний механізм переміщення об'єктів забезпечує:
 - встановлення зразка з максимальним діаметром 50 мм;
 - переміщення зразка по координатам X, Y на ± 25 мм з кроком 0,5 мкм;
 - точність позиціонування по координатам X, Y - 1 мкм;
 - переміщення по координаті Z на 60 мм;
 - обертання зразка на 360°;
 - нахил платформи від 0° до -20° та від 0° до 60°.
- діапазон регулювання струму зонда, А $10^{-12} - 10^{-6}$
- потужність, що споживається мікроскопом, кВ·А..... $\leq 2,5$

Об'єктом дослідження були зображення, отримані у вторинних електронах в автоматичному режимі. Інтерфейс програми керування подано на рис. 3.7.

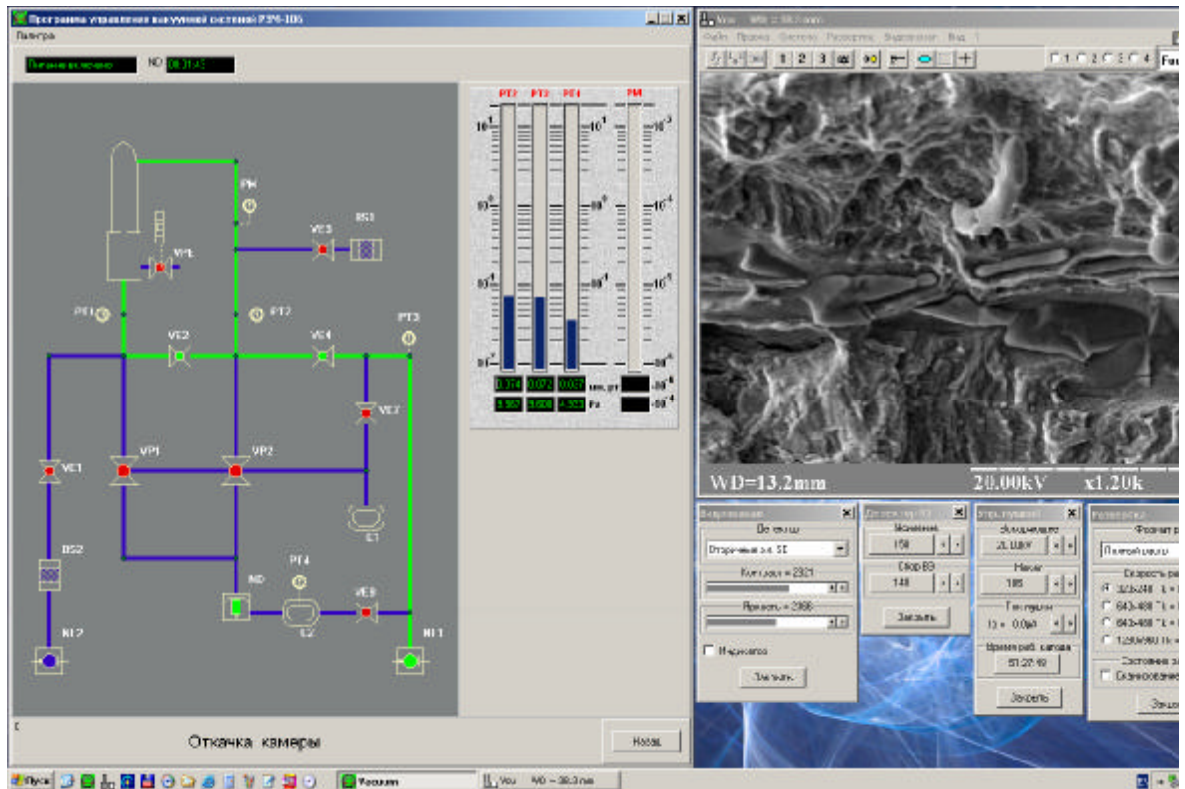


Рис. 3.7. Интерфейс програми керування растрового електронного мікроскопа РЭМ-106И

Мікроскоп містить два вікна - керування вакуумною системою електронного мікроскопа та вікна виведення зображення об'єкта досліджень.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЯМОК ВІДРИВУ

4.1. Наплавлення та аналіз структури ножа відвалу бульдозера

Ніж відвалу представляє собою плоску листову конструкцію розмірами 1820*155 мм і товщиною 20 мм.

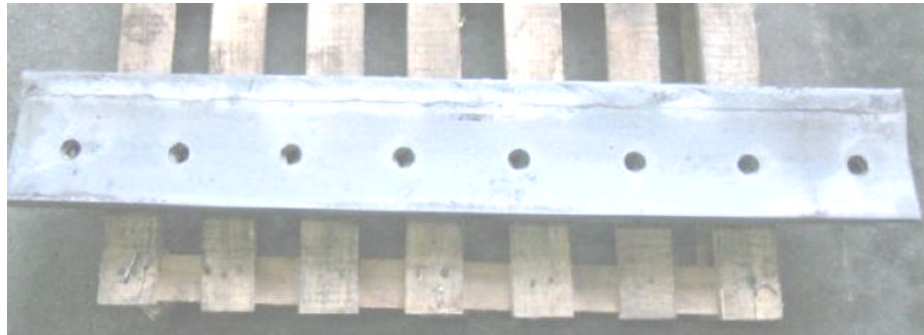


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд ножа бульдозера після наплавлення

В неробочій області наявні сім отворів для кріплення деталі. Робоча поверхня взаємодіє з ґрунтом, в результаті чого зазнає різних видів зношування: абразивне, зношення в результаті тертя, контактну втому. Все це призводить до виходу деталі з ладу. Тому для зміцнення робочої поверхні на неї наплавляють шар з більш зносостійкого матеріалу.

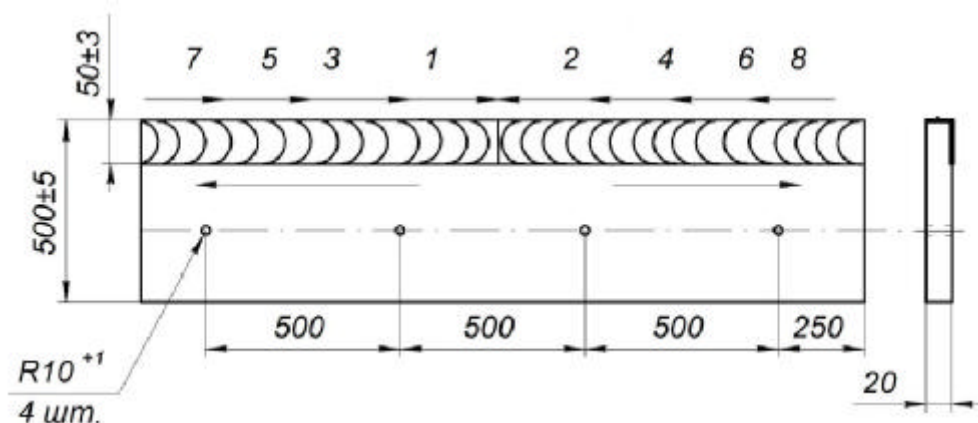


Рис. 4.2. Послідовність виконання наплавлення ножа бульдозера

Ніж відвалу виготовляють з низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С, яку постачають без термооброблення в гарячекатаному стані.

Після того, як були проведенні підготовчі операції, ніж очищений, відрихтований, ніж встановлюють в спеціальне пристосування.

Дане пристосування представляє собою стіл, на якому кріпиться швелер з направляючими осями. На нього встановлюється лист основного металу. Лист кріпиться до пристосування за допомогою ручних важільних притискачів, по чотири з кожної сторони. Зусилля притискачів регулюється за допомогою гвинтів. Наплавлення проводиться по центру листа. Після наплавлення лист розрізається на дві рівні частини, в результаті за одну операцію виготовляють одразу дві деталі.

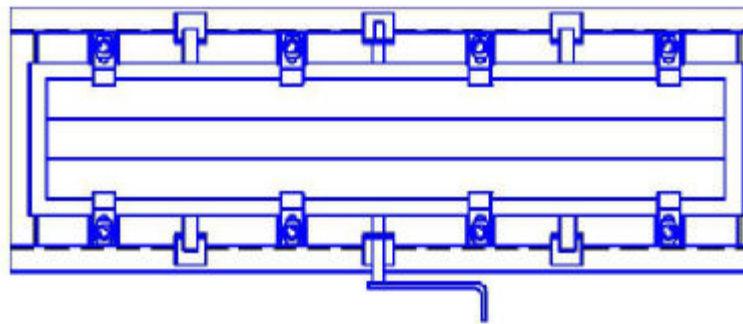


Рис. 4.3. Схема пристосування для наплавлення робочої поверхні ножа відвала

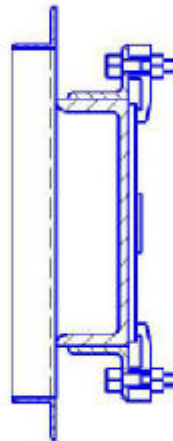


Рис. 4.4. Схема закріплення ножа важільними притискачами

Вимоги, що ставляться до зміцнюючого шару на робочій кромці ножа відвала:

- відповідність заданих геометричних параметрів наплавленого шару зазначених в кресленні. Висота наплавленого шару не менше 2 мм. Ширина не менше 50 мм;

- відповідність заявленої в ремонтної документації твердості наплавленого металу не менше 55 HRC;

- кратери і пори розмірами більше 1 мм не допускаються. Поверхневі тріщини з розкриттям більше 1 мм і тріщини, що переходять в метал ножа не допускаються;

- однорідність наплавленого шару (відсутність напливів і розривів між суміжними валиками).

У процесі відпрацювання технології наплавлення ножа відвалу було зроблено ряд висновків:

- наплавлення на великій швидкості призводить до збільшення частки основного металу в наплавленому. Шов формується з підрізами. Тому необхідно проводити наплавлення з малою швидкістю;

- наплавлення зі зміною нахилу електрода показала ефективність методу «кутом назад». Геометрія наплавленого валика хороша. Шлак в зварювальну ванну не затікав, що полегшило процес наплавлення;

- наплавлення з коливальними рухами не дозволило зменшити частку основного металу в наплавленому валику. Різні коливання збільшили час наплавлення валика і ускладнили процес наплавлення. Тому наплавлення валиків виконували без коливальних рухів.

Через високий зварювальний струм, частка основного металу залишалася високою. При наплавленні одним електродом струм був обраний таким, щоб процес проходив стабільно без будь-яких перерв і формувався якісний валик, але при цьому електрод нагрівався до червоного кольору в ряді випадків відлітала обмазка від кінця електрода, що не дозволило використовувати його повністю. Спираючись на отримані знання, вибрали спосіб і режим наплавлення (без коливань, «кутом назад», зі швидкістю 9

м/год). Отримали частку основного металу в 26%. Режим наплавлення ножа відвала на прямій полярності приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1. Режим наплавлення ножа відвала на прямій полярності

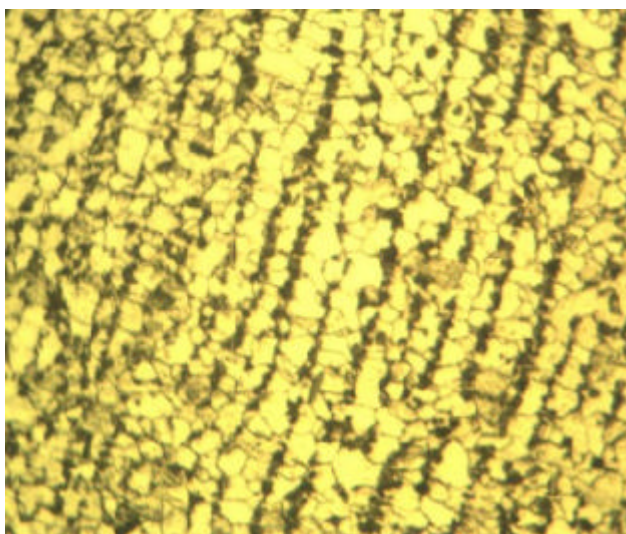
Марка електрода	$U_{сеп}, В$	$I_{сеп}, А$
T-590	18	175

Цим способом наплавляли шар з кількох валиків з малим кроком перекриття. Твердість наплавленого шару перевищила необхідне значення в 55 HRC, і склала 58 HRC. Цим ми експериментально підтвердили, що можна наплавити зміцнюючий шар на ножі відвалу. Тобто забезпечити твердість в першому проході більше 55 HRC.

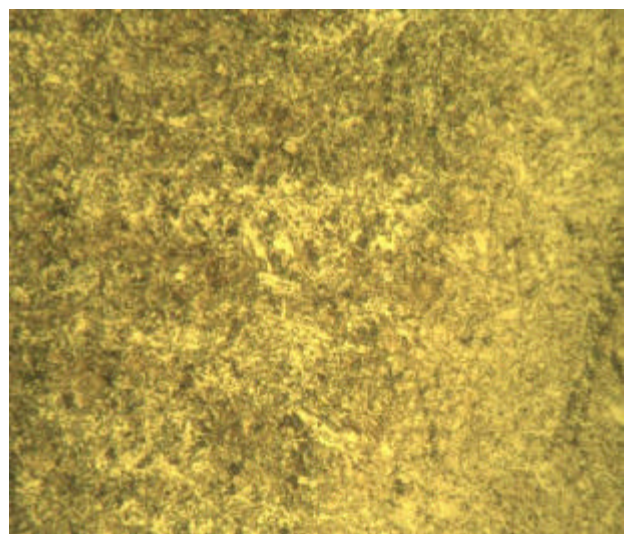
Таблиця 4.2. Хімічний склад наплавленого металу, %

Електрод	Вміст елементу, %						
	C	Si	Mn	Cr	S	P	B
T-590	2,9-3,5	2,0-2,5	1,0-1,5	22-27	0,035	0,035	0,5-1,5

Аналіз мікроструктури зони термічного впливу при наплавленні, як в один, так і в два шари, ідентична і складається з ділянок зон перегріву з відманштетовою структурою і нормалізації з дрібнозернистою ферито-перлітною структурою (рис. 4.5).



×400, (а)



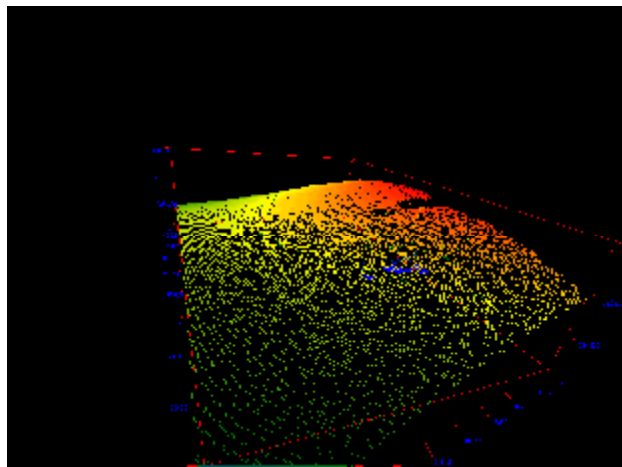
×400, (б)

Рис. 4.5. Мікроструктура основного (а) та наплавленого (б) металу

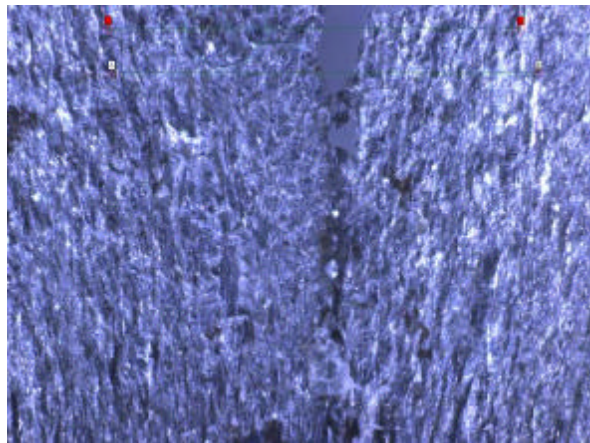
Таблиця 4.3 Твердість та мікротвердість наплавленого металу

Марка наплавлювального матеріалу	Твердість HRC	Мікротвердість $H_{0,5}$, МПа
T-590	58	3500-3700

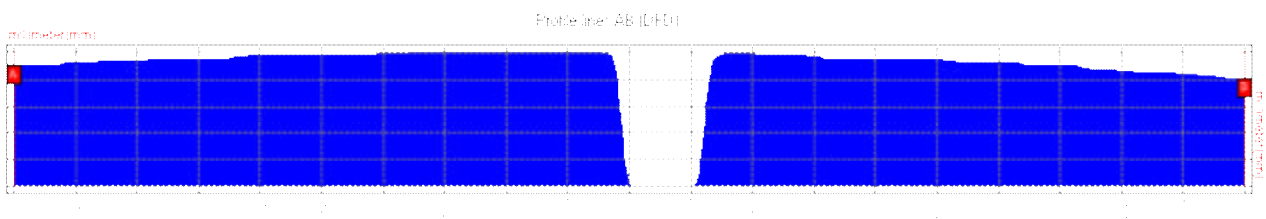
Руйнування поверхні наплавлених покриттів при зношуванні відбувається шляхом багаторазового пластичного деформування, зрізу і викришування частинок, рис. 4.7.



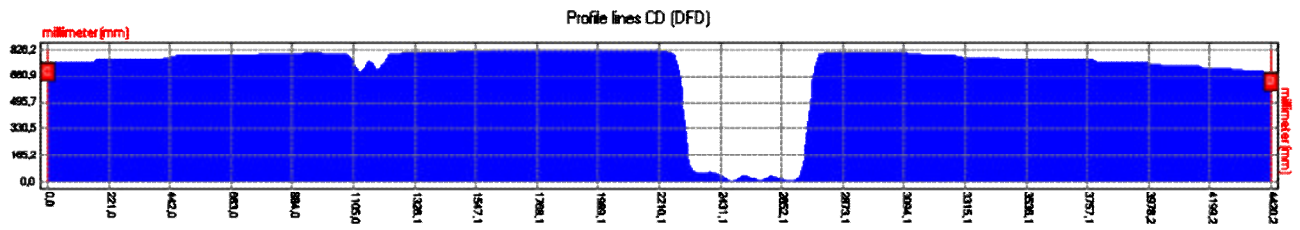
а



б



В



Г

Рис. 4.7. Фрагмент зношеної поверхні ділянки наплавки одержаний методом 3-D профілометрії.

Інтенсивність зношування визначається швидкістю руху абразивного середовища, формою і властивостями абразивних частинок, рис. 4.7.

4.2. Форми ямок в'язкого відриву

Відомо, що мікропори виникають із включень, частинок вторинних фаз та меж зерен. При накопиченні деформацій матеріалу пори розширюються і подовжуються, а перегородка між ними звужується. У міру формування шийки перетинка між сусідніми отворами потоншується. Її руйнування формує два види поверхонь - отвори (ямки) і межі між ними. Форма і глибина ямки відриву залежить від величини напружень та деформаційного стану шийки в околі розглянутих вище мікроконцентраторів напружень. За одновісному розтягу утворюється ямка відриву. Джерелами мікропор є частинки другої фази, межі зерен, межі матриці включення та внутрішньокристалічні дефекти, які є типовими при наплавлення.

Таблиця 4.4. Режими навантажування зразків наплавленого металу

Режим випробувань	Метод випробувань
I	СР (вихідний)
II	Ударне руйнування (вихідний)
III	СР (експлуатований)
IV	Ударне руйнування (експлуатований)

Форму ямки в'язкого відриву оцінюють порівнянням з коловою, за коефіцієнтом округлості. Щоб становити ступінь відхлення геометрії спрвжньої ямки від колової $C_i(x_{ci}, y_{ci})$, форми ямки, спочатку розраховували координати її центра мас

$$x_{ci} = \frac{\sum_{m=1}^{f_i} x_m}{f_i}, \quad y_{ci} = \frac{\sum_{m=1}^{f_i} y_m}{f_i}. \quad (4.1)$$

Після цього за методикою І.В. Коноваленка, П.О. Марущака обчислювали коефіцієнт округлості K_{ci} – відсоток попадання пікселів аналізованого морфологічного утворення у коло з діаметром d_i , центр якого суміщено з центром мас C_i :

$$K_c = \frac{\sum_{m=1}^{f_i} g(\vec{r}_m, d_i)}{f_i} \cdot 100\%, \quad g(\vec{r}_m, d_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } |\vec{r}_m| \leq d_i / 2 \\ 0, & \text{при } |\vec{r}_m| > d_i / 2 \end{cases} \quad (4.2)$$

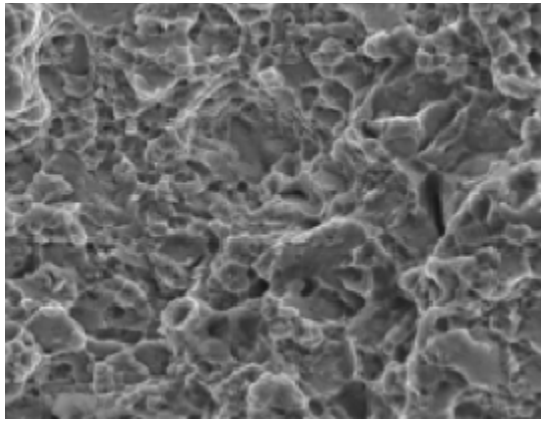
де $g(\vec{r}_m, D_i)$ – індикаторна функція, яка показує, чи попадає m -ий піксель отвору у межі еквівалентного кола з діаметром D_i ; \vec{r}_m – радіус-вектор, направлений від центру еквівалентного кола $C_i(x_{ci}, y_{ci})$ до m -того пікселя об'єкта з координатами (x_m, y_m) .

Відомо, що коефіцієнт округлості K_c описує форму окремої ямки. Алгоритм введення застосовується до вхідного зображення, включаючи фільтрацію та двійкове перетворення, і аналізує знайдені елементи зв'язку, що відповідають ушкодженій ділянці. Обчислювали значення площі та центру ваги множини ямок в межах аналізованого зображення одержаног методом скануючої електронної мікроскопії. Обчислювали еквівалентні діаметри D кола з такою ж площею.

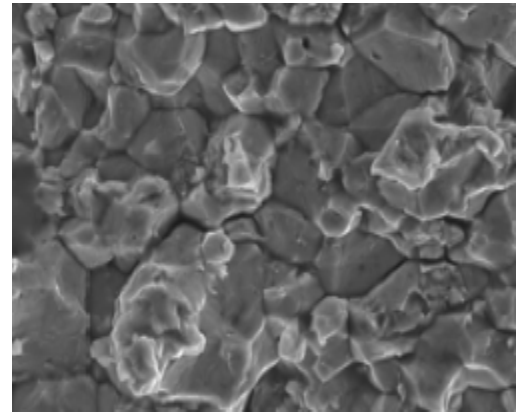
4.3. Фрактографічний аналіз

Макроскопічний аналіз руйнування зразка показує, що є дві основні зони для всіх схем руйнування – відриву (кругла ямка) та зрізу (зсувна ямка). Відривні механізми є переважаючими, а зона зсуву знаходиться біля

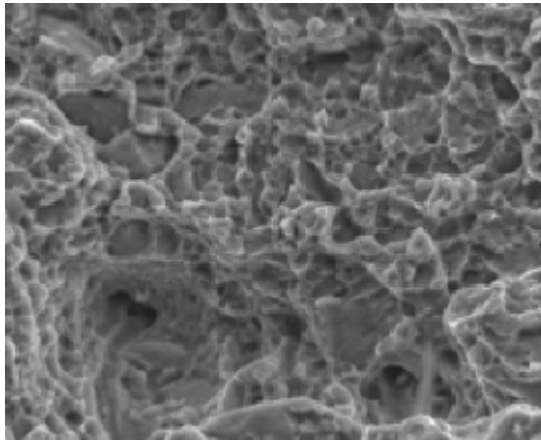
бічної поверхні зразка. Біля поверхні виявили вириви, що нагадують «губи зсуву».



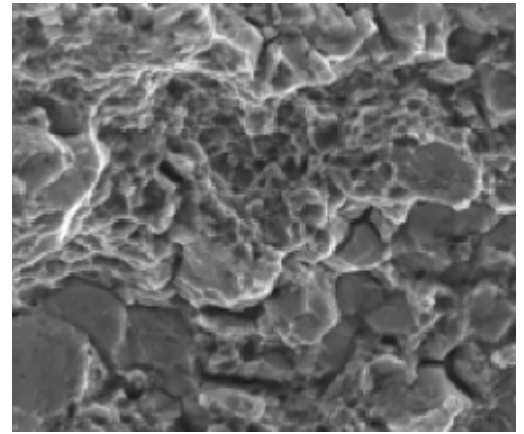
а



б



в



г

Рис. 4.8. Фрактограми руйнування наплавленого шару: I – а; II- б; III- в; IV – г.

I. Поверхня утворена змішаним вязким+ крихким механізмом і покрита смугоподібними рубцями, орієнтованими вздовж довших сторін зразка, що вказує на локалізацію процесу деформації, рис. 4.8а Мікрорельєф утворений плоскими, але добре помітні ямками. Сторони ямок гладкі та ламкі (подрібнені). Межа між ними має гострі краї, що свідчить про наявність крихких механізмів під час руйнування матеріалу, рис. 4.8б.

II. На макрорівні тріщини дуже гладкі, а вириті «тераси» паралельні довшим сторонам, як показано на рис. 4.8в. При великому збільшенні на поверхні можна помітити чіткі межі «зерен», які свідчать про достатню

в'язкість матеріалу і високі витрати енергії на руйнування. Крім того, слід зазначити, що всі вони візуально схожі за розміром, що свідчить про поступове формування та розвиток деформування, а також певну пластичність, рис. 4.8д.

III. На макрорівні тріщини складаються з двох частин: зсуву та відриву. На поверхні також добре помітні «вириви». Горби на поверхні вкриті порами з шорсткими краями. Ямки виглядають крихкими, а механізм їх утворення можна описати як квазікрихкий. Вони мають форму багатогранника, а їхні грані перетинаються.

IV. На поверхні зразка є дві різні області – в'язке руйнування та відшарування (зсув). У зоні в'язкого поділу поверхня має «волокнисту структуру». Оскільки більша частина матеріалу бере участь у процесі деформації під час процесу розриву, виникає в'язкий розрив, який викликає процеси зсуву та обертання в поперечному перерізі зразка.

4.4. Визначення фрактальної розмірності і площі вязких мікромеханізмів руйнування

Показано основні закономірності статичного та динамічного руйнування наплавлених покриттів. Використовуючи раніше розроблений оптичний цифровий алгоритм аналізу руйнування, кількість, вимірний і розрахований діаметр ямок руйнування, що утворилися на поверхні руйнування наплавки. Значення коефіцієнта форми ямок різних розмірів проаналізовано нижче.

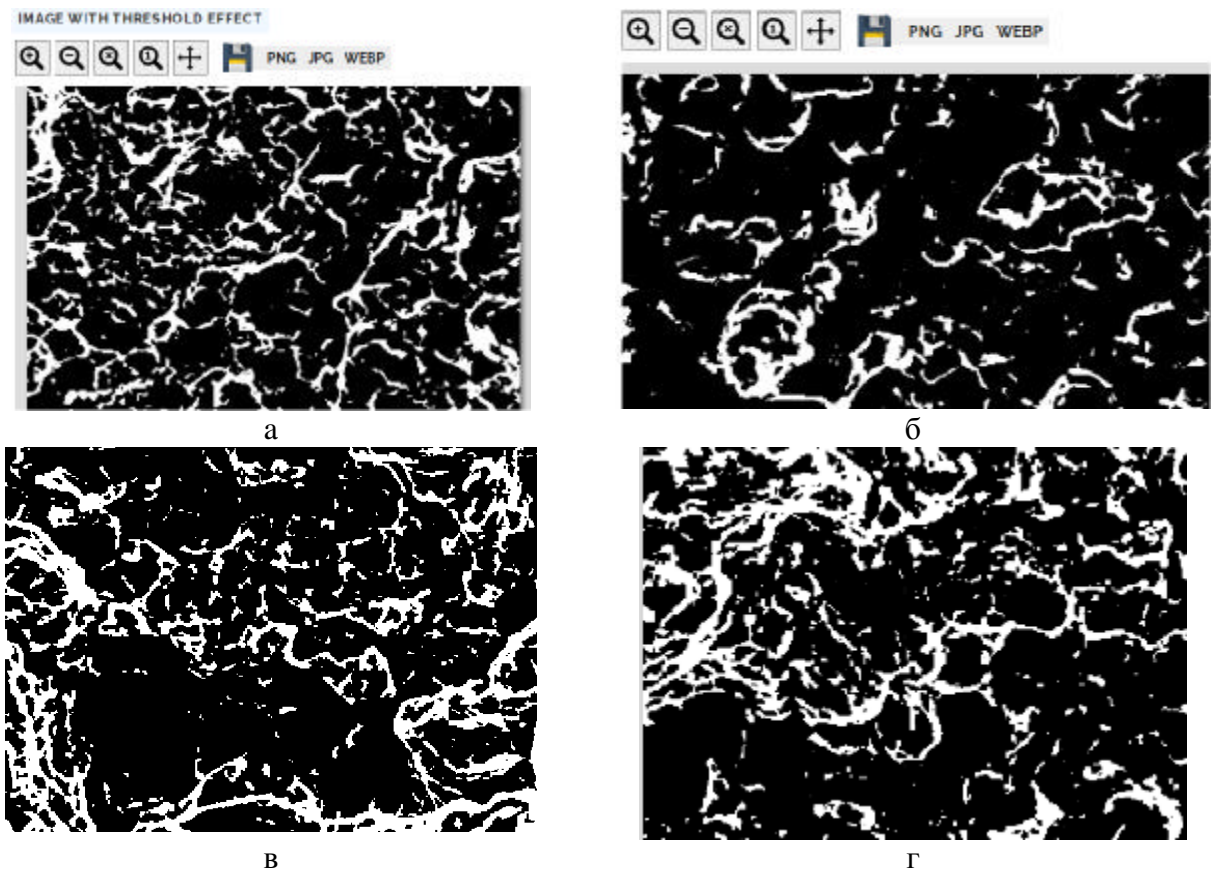


Рис. 4.9. Фрактографічне зображення ямок в'язкого відриву, отримане під мікроскопом зображене на рис. 4.8.

Процес бінаризації є перетворенням кольорового (або сірого) зображення в чорно-біле. Основним параметром цього перетворення є порогове значення t для порівняння з яскравістю кожного пікселя. На основі результату порівняння призначали пікселю значення 0 або 1.

Основна мета бінаризації - принципове зменшення обсягу інформації, яку потрібно обробити. Отже, вдала бінаризація значно спрощує подальшу обробку зображення. З іншого боку, помилки в процесі бінаризації можуть зумовити спотворення, такі як розриви рядків, втрата значущих деталей, втрата цілісності об'єкта, шум і непередбачувані спотворення морфології аналізованого об'єкту через нерівномірний фон.

Інтенсивність –насиченість відтінку, тобто ступінь візуальної відмінності між ахроматичними (сірими) кольорами з однаковою яскравістю та максимальною яскравістю. Насичені кольори можна назвати насиченими, глибокими, менш насичені-м'якими, близькими до сірих. У

цифровій техніці цей параметр кодується 8 бітами, тому він може мати 256 значень - від 0 до 255.

Бінаризували електронно-мікроскопічні зображення та змінювали його інтенсивність у діапазоні від 75 до 115, тому що саме тут розподіл чорних ділянок на зображенні може найкраще відображатися. З попередніх досліджень було встановлено, що крок «5» зміни інтенсивності є оптимальним, оскільки більший розмір кроку спричинить нестачу інформації, а менший розмір кроку зумовить незначну зміну площі чорної області на зображеннях з різною інтенсивністю, рис. 4.10.

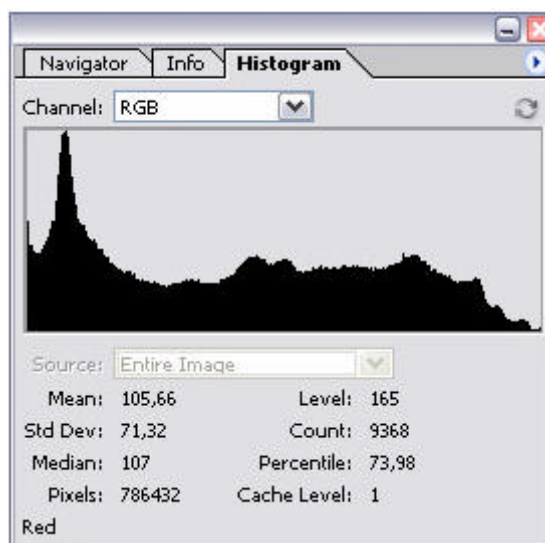


Рис. 4.10. Графік інтенсивності зображення (приклад з сайту <https://studizba.com/lectures/11-iskusstvo-i-iskusstvovedenie/397-teoriya-fotografii/5389-8-gistogrammy.html>)

У випадку з металами розподіл в'язких мікромеханізмів руйнування ніколи не є рівномірним через різну структуру металу. Наприклад, міцність і структурну однорідність у локальних ділянках наплавлення. Однак цей фрагментований розподіл у даному просторі не є випадковим, оскільки фрактальні об'єкти є самоорганізованими на принципі центральної організації та є самоподібними у всіх просторових масштабах.

Аналізовані морфологічні об'єкти є мікромеханічними проявами руйнування наплавленого покриття і мають досить неправильну форму,

тому необхідно знайти декілька відповідних методів для опису моделі, використовуючи фрактальне дослідження та просторову автокореляцію.

Фрактал - це неправильна самоподібна структура. Загалом, фрактал відносять до невеликої частини випадково збільшеної фігури, яка схожа на неї.

Фрактальні властивості можуть бути пов'язані з деякими важливими особливостями зруйнованих наплавов: самоподібністю накопичення та фрагментації просторових структур у різних масштабах, звивистістю ієрархії, межею між структурними фазами та нелінійною динамікою. Отже, певні аспекти дослідження міцності металів повністю узгоджуються з фрактальним описом металів, а фрактали зазвичай дуже добре описують моделі металевих структур.

Коробковий метод.

Мета цього методу — знайти мінімальну кількість квадратів, необхідну для покриття всіх чорних пікселів. Алгоритм сходить до мінімуму за нескінченний час, тому результат є лише наближенням до оптимального покриття.

Для обчислення фрактальної розмірності складних об'єктів використовували метод обчислення кількості клітин. Рекомендований за умов, коли неможливо розрахувати розмір об'єкта за числовими формулами або важко точно визначити кривизни об'єктів неправильної форми, як у нашому випадку. Наприклад, за допомогою інших методів важко розрахувати ескізи, океанські хвилі чи хмарний пил. Це пояснює його популярність, незважаючи на обмежену точність роздільної здатності підрахунку.

Перевага цього методу в тому, що він простий і підходить для багатьох морфологічних об'єктів. Зберігши об'єкт у квадраті або коробці, ви можете виконати статистичний аналіз, щоб визначити його фізичний розмір. Є можливість використання цього методу для обчислення розмірів дуже маленьких об'єктів (наприклад, пил Cantor) або дуже великих об'єктів

(наприклад, гір). Недоліком, знову ж таки, є велика аналітична похибка. Розглянемо використання методу для фрактодіагностування і вимірювання фрактальної розмірності зображення на площині.

- Спочатку для кожного розміру захисної сітки обчисліть кількість сіток, які містять зображення. Всі комбінації обчислених значень об'єднують в пари та вставляють у стандартне рівняння методу розрахунку прямокутника. Розмірність обчислюють за рівнянням

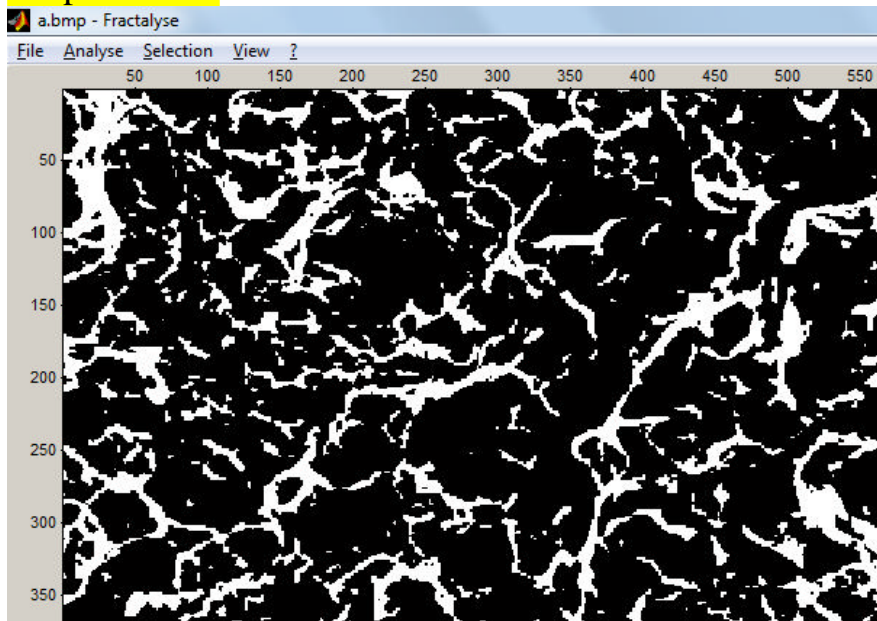
$$D_{\text{фракт}} = \frac{\log n(a) - \log n(b)}{\log(1/s_1) - \log(1/s_2)}$$

де n число квадратів, що містять зображення, а $1/s$ - масштаб сітки.

Після цього обчислюють середній результат, щоб отримати точну оцінку об'єктів фрактальної розмірності.

Таблиця 4.5. Результати фрактального аналізу

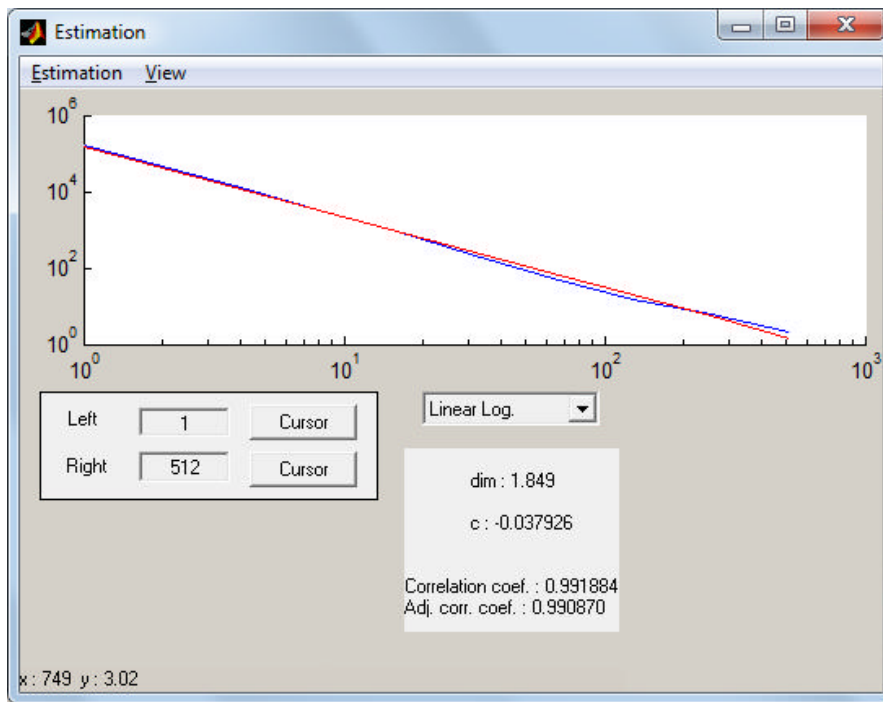
Зображення І



а

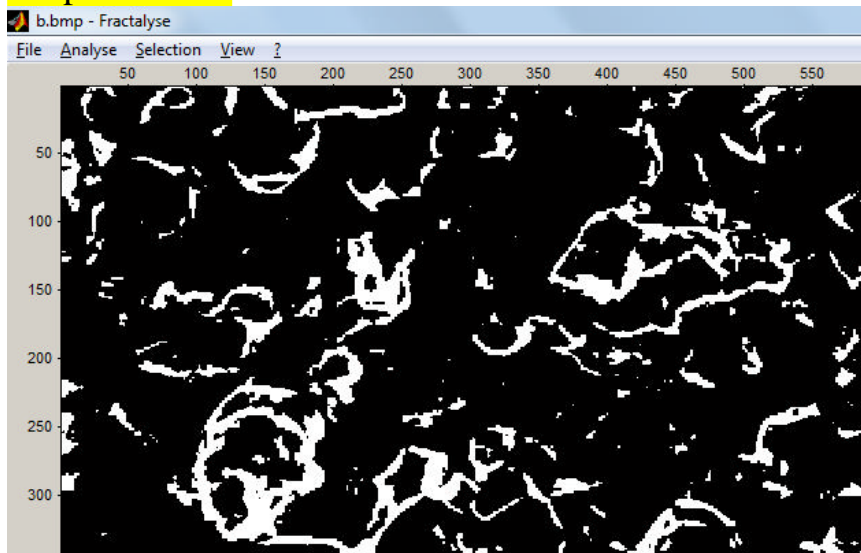
1.849

Ітераційна пряма І

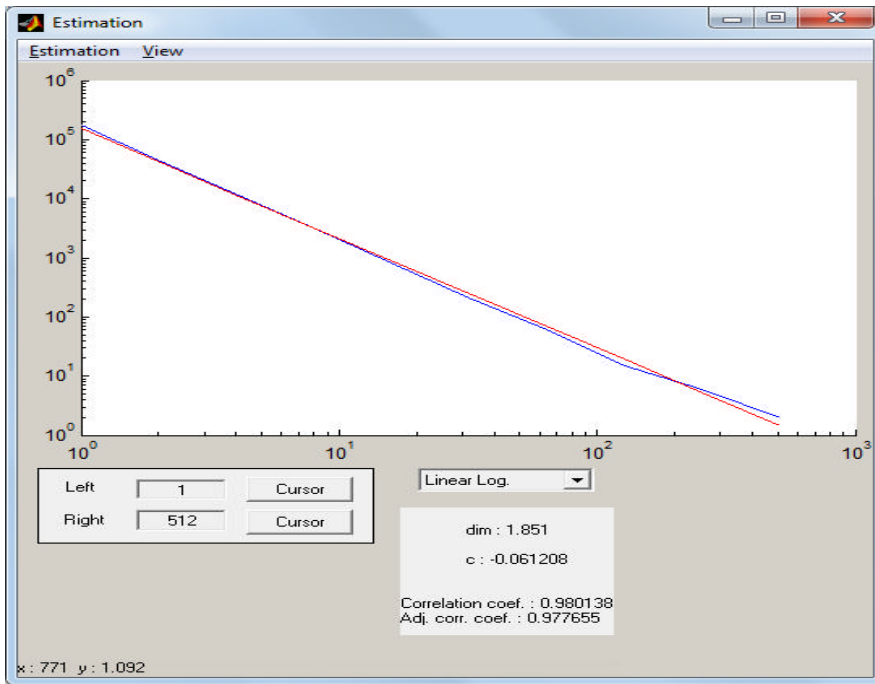


Зображення II

1,851

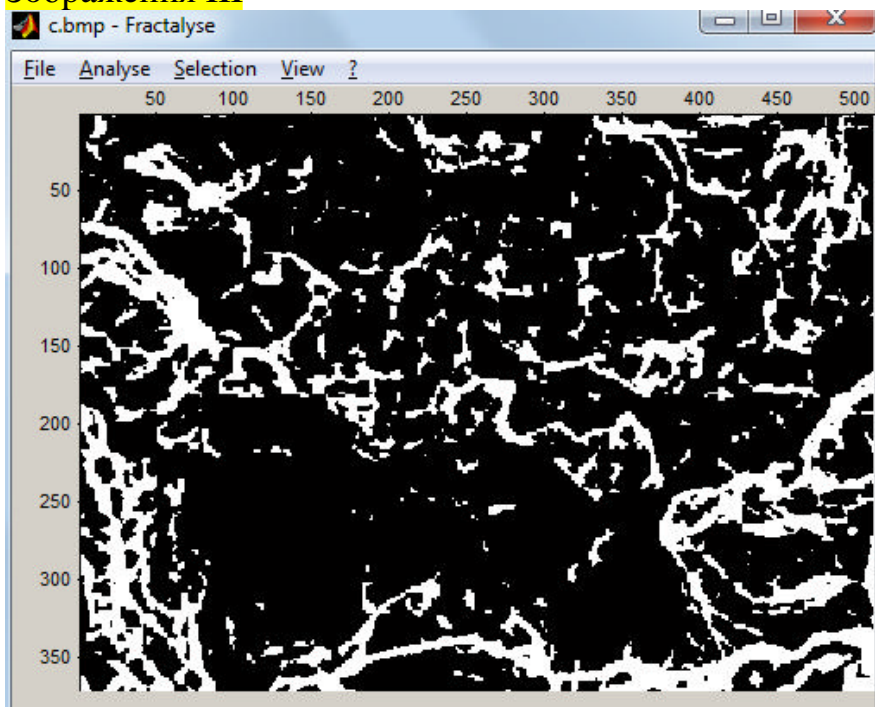


Ітераційна пряма II



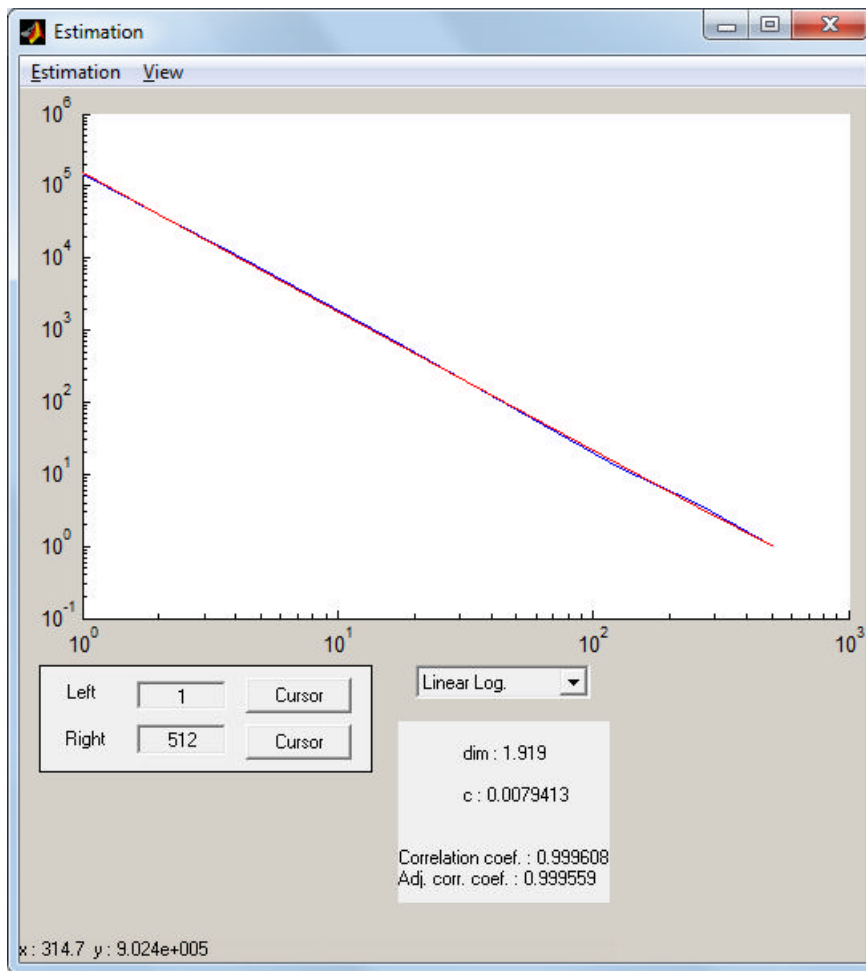
1.849

Зображення III

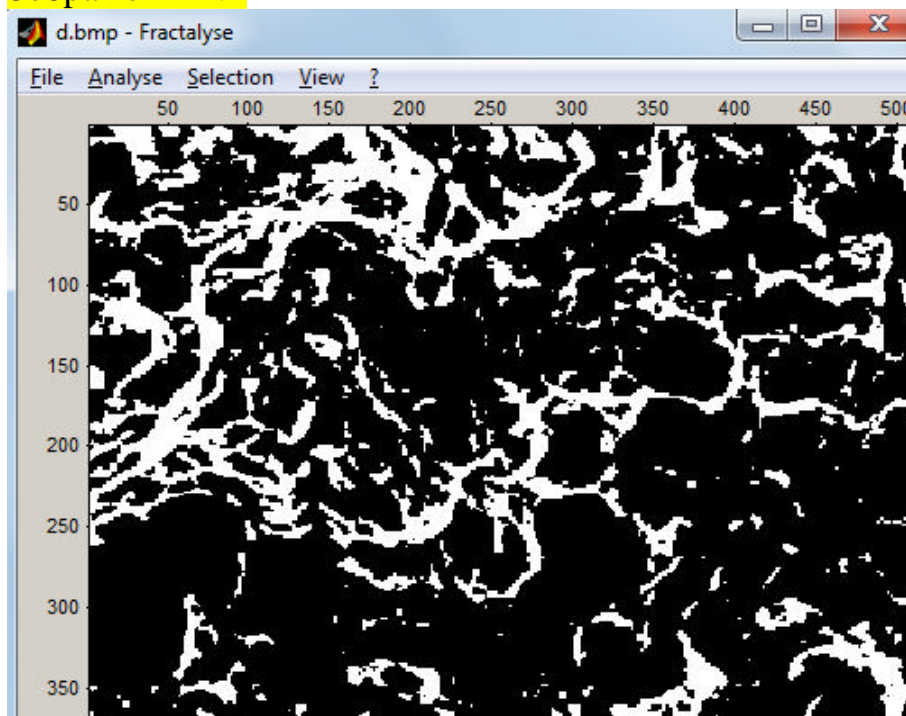


1.849

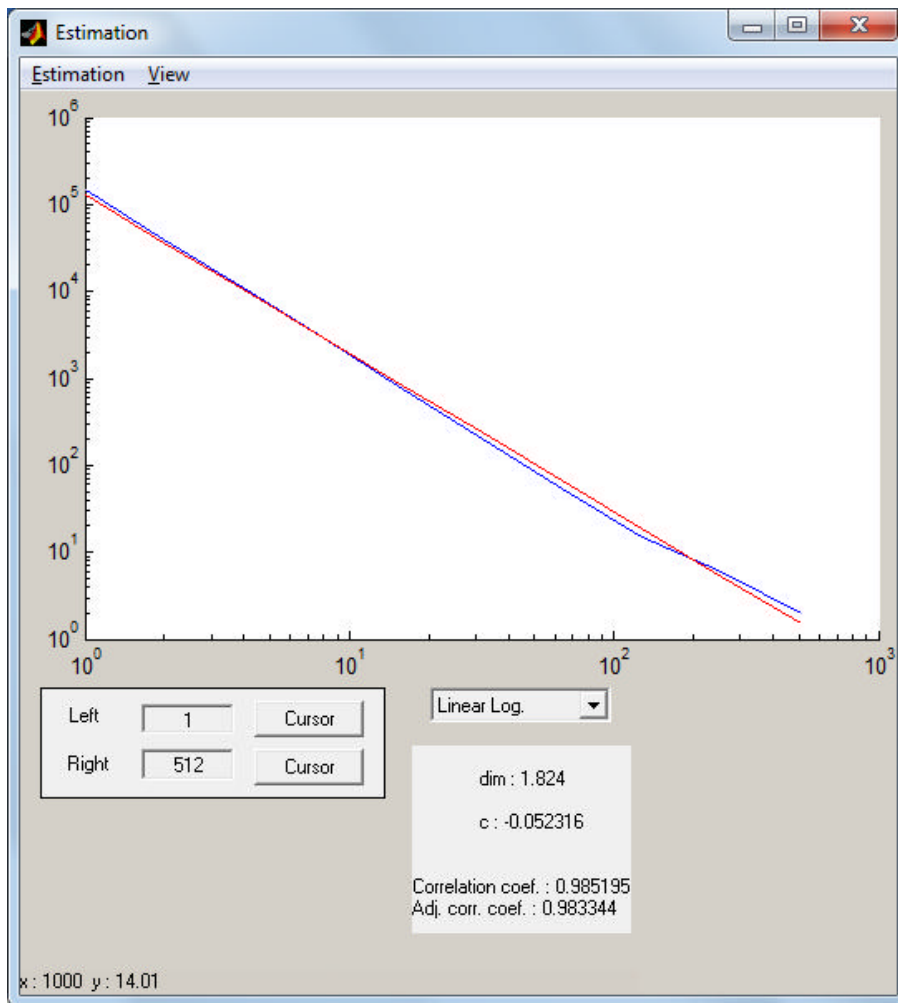
Ітераційна пряма III



Зображення VI



Ітераційна пряма VI



Слід зазначити, що більш дрібні сітки, як правило, дають точніші дані фрактальної розмірності. Частково це пов'язано з кількістю варіацій, які можуть виникнути в регіонах підрахунку залежно від того, як сітка розміщена на зображенні. Метод розрахунку площі чорних поверхонь реалізований за допомогою відомого алгоритму. Розрахунок проведено поетапно за принципом ітерації. На кожному ітераційному кроці виконували обчислення площі чорних поверхонь, вираженої у відсотках від загальної площі зображення. Отже, у цьому методі є два елементи, які змінилися залежно від розрахунку: інтенсивність; площа.

Зі зміною інтенсивності від 75 до 115 площа чорних поверхонь вязкого руйнування збільшувалась лінійно все більше і більше від 42% до 79%. Зі збільшенням інтенсивності зростання площі чорних поверхонь (зон в'язкого руйнування) не сповільнювалось.

Як відомо, реалізація механізму руйнування в області локалізації деформації причиняє збільшенн фрактальної розмірності, оскільки активізуються фазова і мікроструктурна складові. На думку автора, дрібнозернистий злам і висока фрактальна розмірність свідчить про якість наплавки в усіх досліджених станах, рис. 4.11.

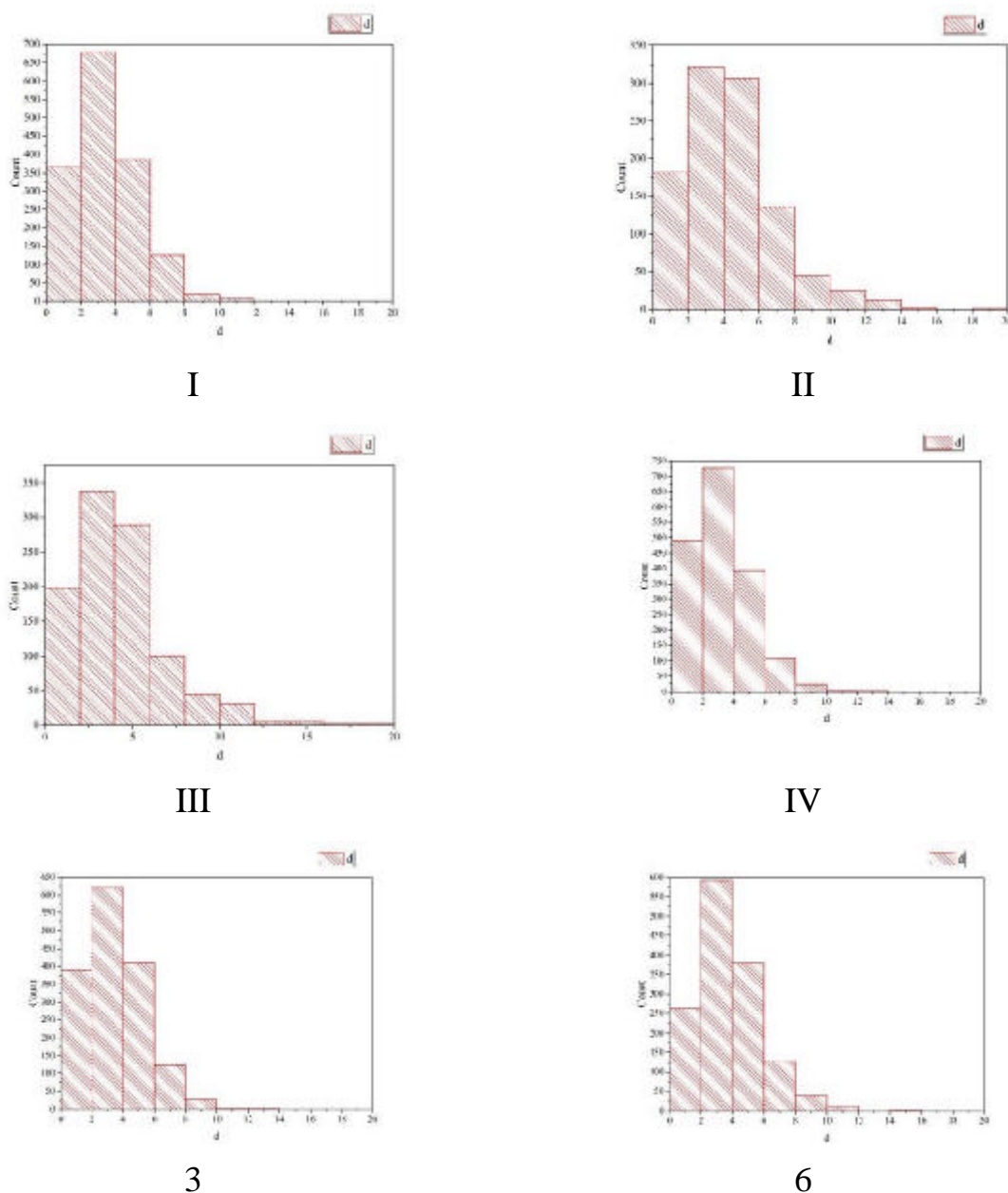


Рис. 4.11. Гістограми кількісного складу ямок різного умовного діаметру, за збільшення (x600), виявлених на поверхні руйнування за статичного деформування та динамічного руйнування

Співставляючи поверхні руйнування можна стверджувати, що направленою захисною шару відбулося за ямковим механізмом, при цьому слід зазначити що для схеми випробувань:

I: масив ямок за СД становить – 1687 шт., при цьому за СД основний масив ямок це ямки від 2 до 4 мкм.

II: масив ямок за ДР становить – 1105 шт., при цьому основний масив ямок це ямки від 2 до 4 мкм.

III: масив ямок– 1667 шт., від 2 до 4 мкм.

VI: масив ямок– 1782 шт., від 3 до 6 мкм.

Помітно, що механізми руйнування були подібними, про це свідчать також значення коефіцієнта форми ямок, які для масиву ямок від 2 до 10 мкм лежать у вузькій смузі розкиду.

Для порівняльного аналізу значень та кількісного аналізу розмірів ямок зведених у вибірки за схемами деформування та руйнування будували гістограми їх розподілу, рис. 3. За аналізом одержаних гістограм можна стверджувати, що вони мають дещо асиметричний характер, що дещо знижує інформативність середніх значень діаметру ямок (d_{aver}). Для досліджених умов навантажування титанового сплаву $d_{aver} = 2,40; 2,61; 2,48; 2,92$ відповідно для I, II, III, IV схем, див. табл. 1. Еквівалентний діаметр - діаметр гіпотетичного круглого перерізу, для якого відношення площі до повного периметру той же, що і для даного некруглого перетину.

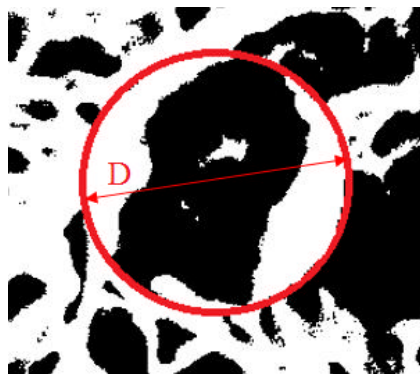


Рис. 4.12. Принципова схема оцінювання еквівалентного діаметра ямки
взкого відриву

Зі збільшенням інтенсивності кількість ямок зменшується, а їх еквівалентний діаметр зростає.

Середній діаметр визначається за формулою:

$$D_{сер} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n},$$

де n – кількість ямок, $D_1 \dots D_n$ – їх діаметри.

На основі цих даних визначено кореляційну карту середніх інтенсивностей. На графіку, рис. 4.13 видно, що інтенсивність зростає на ділянці від 100 до 110 від пропонованої інтенсивності. Отже найкоректніший результат буде за інтенсивностей у діапазоні від 100 до 110.

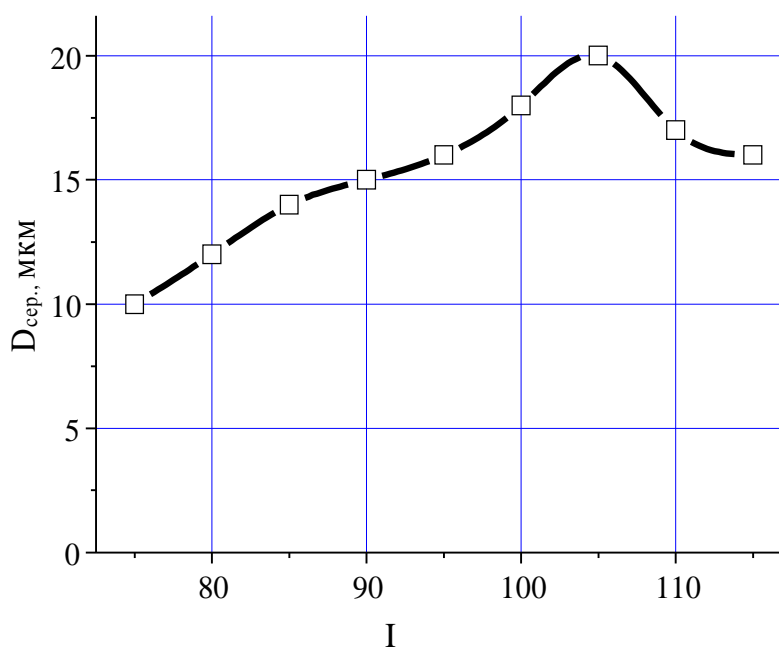


Рис. 4.13. Графік залежності середнього діаметра від інтенсивності

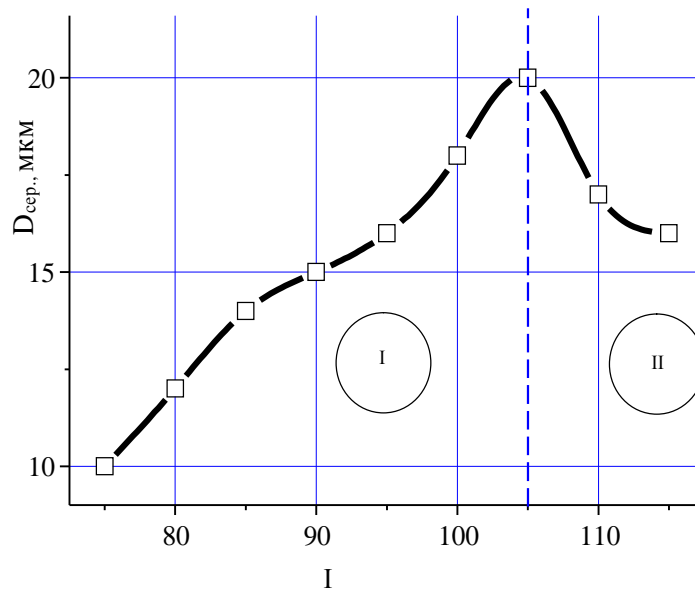


Рис. 4.14. Стадійність у обчисленні еквівалентних діаметрів ямок в'язкого відриву від інтенсивності

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.

5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Пакети прикладних програм

Експериментальні дані проведених випробувань зразків, вирізаних з наплавленого шару виконано за допомогою програми NSTAT. Прототипом даної програми є програма обробки експериментальних даних подана у [54].

Цей програмний комплекс забезпечує ефективне обчислення низки механічних властивостей матеріалів: модуль пружності, умовну межу пропорційності $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$ з допуском на пластичну деформацію відповідно 0,02%, 0,05% і умовний поріг текучості $\sigma_{0,2}$, межу міцності σ_b , максимальне рівномірне видовження (деформацію); дійсний опір розриву S_k , дійсну деформацію при руйнуванні ϵ_k а також показник деформаційного зміцнення n .

Діаграма руйнування в умовних або дійсних координатах виводиться на у файл, або на екран ПК. Програма NSTAT працює з даними, записаними на диск після закінчення експерименту. Програмне забезпечення дає змогу здійснювати неперервний або дискретний запис діаграм деформування і руйнування.

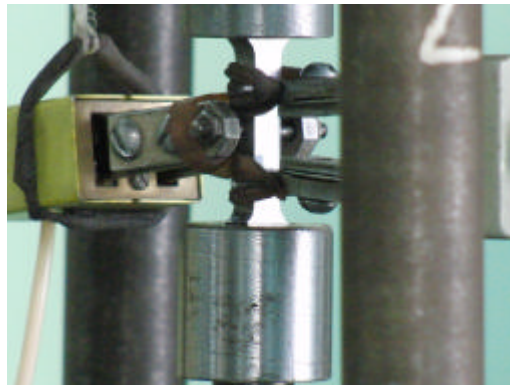


Рис. 5.1. Схема визначення відносного видовження та звуження для матеріалу наплавки

За допомогою цієї програми є можливість:

- вибору функції регресії;
- зчитування вхідних даних (чисел або тексту) з вхідного файлу;

- апроксимації даних попередньо заданою регресійною функцією (лінійною, нелінійною);
- відображення графічної інформації на екранах, принтерах у файлах;
- створення текстового файлу результатів, який містить рівняння регресії та статистичні характеристики рівняння;
- зчитування раніше записаних файлів зображень і перегляду їх на екрані або принтері;
- відображення підказок англійською та українською мовами (за вибором) на всіх етапах випробувань;
- прискорення відображення креслень і схем;
- введення додаткових коментарів (приміток) для текстової та графічної вихідної інформації.

Вхідні даними для програми є:

- MAT, ITEMP, NOM - марка матеріалу, температура, номер зразка;
- D0 (SHIR, TOLSCH) - діаметр (ширина, товщина) зразка, мм;
- FP, FE, FE2 – калібрувальний коефіцієнт зусилля (кН/В), поздовжньої (%/В) і поперечної (%/В) деформацій;
- BAZA, DOP – база вимірювань, м; допуск за процесу визначення модуля пружності;
- R(NR) – масив вихідних даних «зусилля – поздовжнє видовження», поперечне звуження;
- NR – величина масиву даних.

На початковому етапі визначали площа поперечного перерізу зразка (призматичної, або циліндричної форми вирізаного з наплавленого шару). Потім розраховували модуль пружності E за схемою (рисунок 2.14) Якщо значення $X1-X$ менше заданого допуску DOP хоча б в одній точці, весь масив розбивався на дві частини і алгоритм продовжував свою роботу.

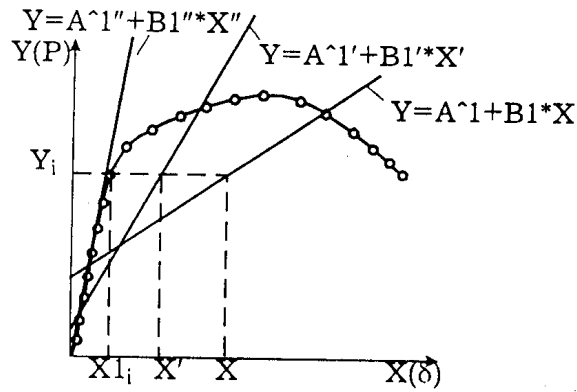


Рис. 5.2. Схема методу ітерації для визначення модуля пружності покриття наплавленого роботом

Частина масиву, яка описує ліву частину графіка розтягу, апроксимували методом найменших квадратів, а різницю порівнювали з допуском DOP для вказаної точки масиву. Повторення цього процесу, доки умова $X1-X = DOP$ не буде виконана для всіх точок масиву. Потім обчислювали модуль пружності E за допомогою коефіцієнта регресії $B1$.

Блок-схему алгоритму подано на рис. 5.3.

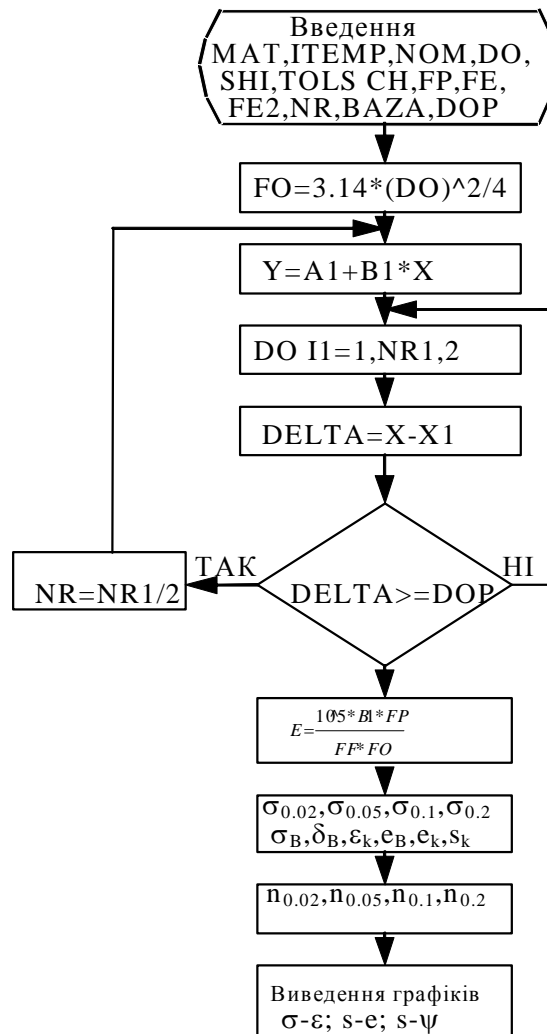


Рис. 5.3. Загальна блок-схема програми NSTAT

Програма також створює файл із розширенням * .dap, який містить ряд даних коду ASCII, які можна легко імпортувати будь-якою програмою (Excel, Microcal Origin, Mathcad), будувати графічні залежності та забезпечувати математичну обробку.

5.2. Програмний пакет OriginPro 9.1

Origin - пакет програм фірми OriginLab Corporation для чисельного аналізу даних та наукової графіки, що викривують на ПК під управлінням операційної системи Microsoft Windows.

Для виконання операцій можна використовувати як інструмент графічного інтерфейсу користувача (діалоги / меню), так і викликати їх в

окремих опціях. В Origin є власний компілятор C / C ++ з підтримкою та оптимізацією векторних і матричних обчислень.

Origin підтримує створення двовимірної та тривимірної наукової графіки, яка створюється з попередньо розроблених шаблонів і може редагуватися користувачами. Є можливість створення власного шаблону. Після завантажування зображення його можна змінити за допомогою меню та діалогових вікон, створених подвійним клацанням по його складових. Є можливість експорту згенеровані графіків та таблиць в різні формати, зокрема: В. PDF, EPS, WMF, TIFF, JPEG, GIF тощо.

Origin дозволяє виконувати чисельний аналіз даних, включаючи різні статистичні операції та обробку сигналів. Головне вікно програми OriginPro 9.1 подано на рис. 5.4.

Особливістю цієї програми є динамічне меню, яке відображається відповідно до відкриття вкладок головного вікна, тобто для графіки, нотаток, матриць або книг панелі інструментів і меню є дещо відмінними.

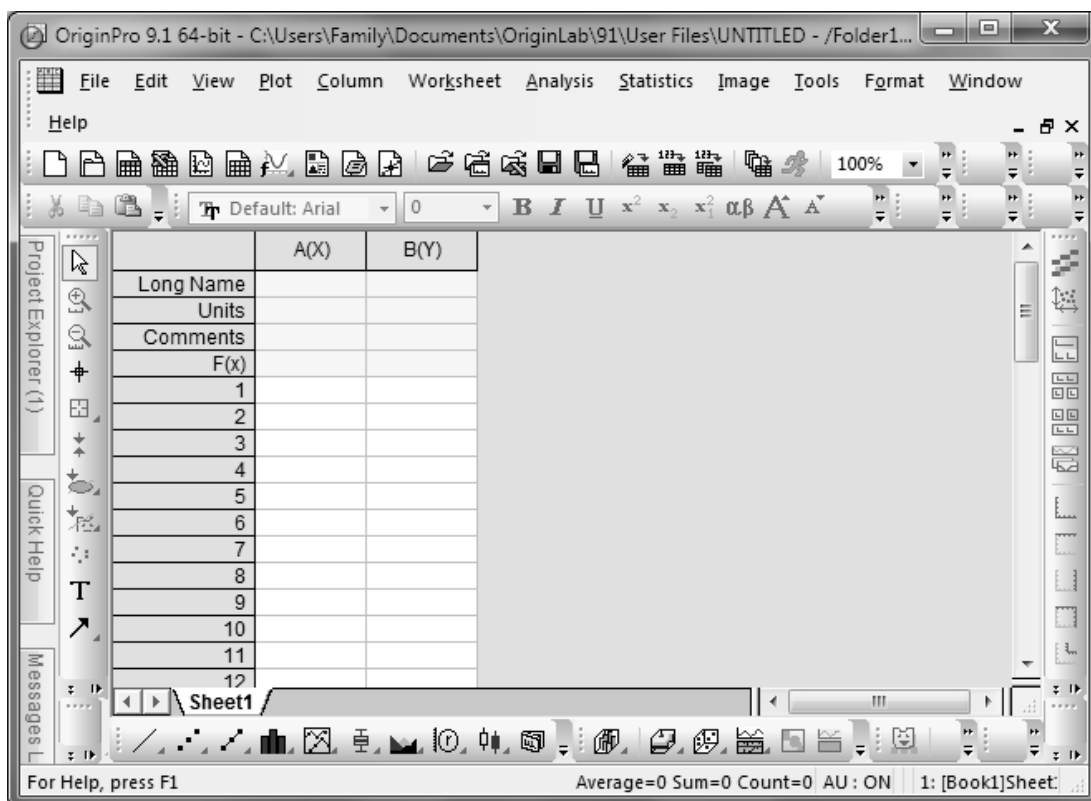


Рис. 5.4. Основне меню програми OriginPro 9.1

Робоча книга: подібно до MS Excel, робоча книга в Origin є основною структурою організації даних.

Діаграми: Origin дозволяє створювати більше 60 типів діаграм, кожна з яких має вбудовані шаблони. Графіку вікна можна вставляти в робоче поле програми.

Масиви: Origin містить дані та зображення, і для багатьох типів 3D-графіків – Коментарі: У вікні коментарів доступні лише режими введення тексту для запису аналізованої програми. Є можливість вставлення вікна коментарів в клітинку робчого аркушу.

У цій кваліфікаційній роботі використовували такі інструменти, як Image Profiles і Contour Profiles, для попереднього аналізу фрактограм з механізмами в'язкого, в'язко-хрихкого руйнування. Розглянемо інтерфейс зображення інструменту (Рис. 5.5), та оцінемо позитивні сторони та обмеження.

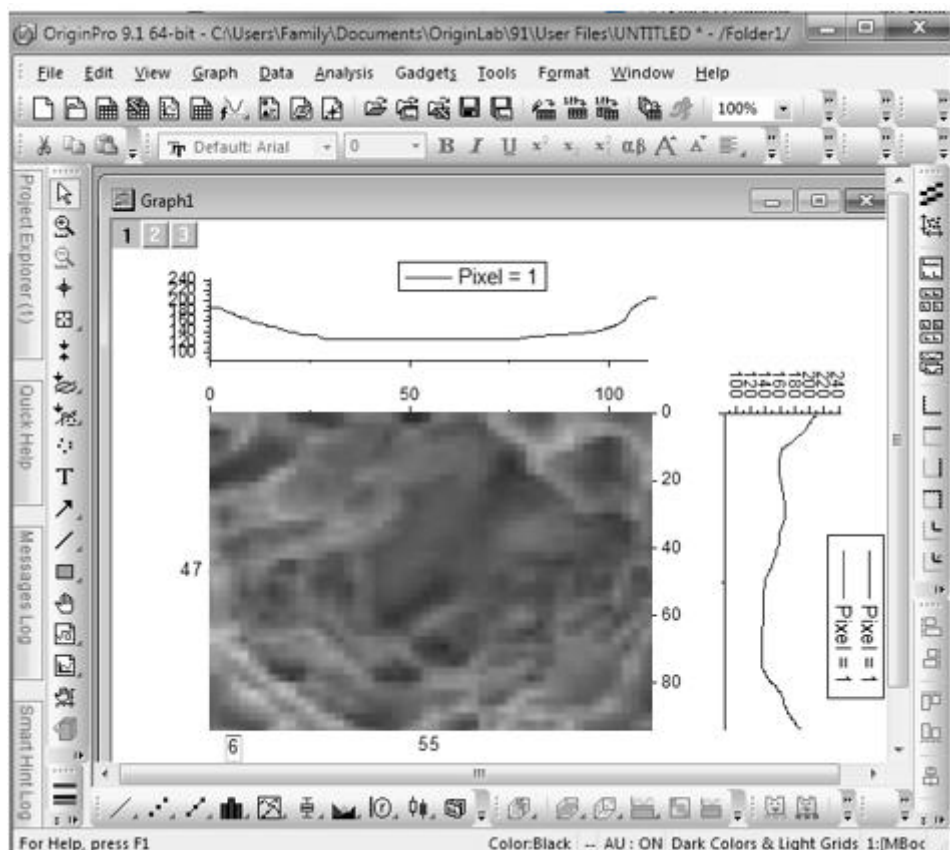


Рис. 5.5. Опція Image Profiles

Інструмент автоматично визначає розмір зображення та промальовує вісь через геометричний центр зображення, що забезпечує оперативне накопичення

даних про інтенсивність кольору зображення та промальовування «глибини» ямок. Також є можливість малювати додаткові осі в режимі оператора. З вертикального розрізу видно, що додаткова вісь за межами котловану лежить над віссю, яка проходить через центр ямки, отже можна оцінити (в першому наближенні) розмір самої ямки.

5.3 Перспективні способи зміцнення робочих органів землерийних машин адаптовані до ґрунтів різних типів

За технологічним (зносостійкість поверхні), економічним (продуктивність) та екологічним (високий рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони) критеріями проведено порівняльний аналіз перспективних способів зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, що наведені в таблиці 5.1 [21–23].

Встановлено, що спосіб зміцнення лезових частин робочих органів землерийної техніки електро-контактним обробленням, на відміну від інших перспективних способів, не потребує гостродефіцитних дорогих витратних матеріалів і великої кількості операцій. До того ж під час операції зміцнення одночасно проводиться загострення різальних поверхонь, що суттєво спрощує реалізацію процесу та знижує його собівартість.

Під час процесу, який протікає між деталлю та чавунним дисковим електродом-інструментом, без спеціальних зміцнюючих матеріалів у середовищі охолоджувальної рідини утворюється розплавлений поверхневий шар лезової частини робочого органу, швидке охолодження якого забезпечує отримання загартованих структур дрібногочастого мартенситу товщиною 2,0–2,5 мм і твердістю до 62 HRC.

Таблиця 5.1 - Перспективні способи зміцнення робочих органів землерийних машин адаптовані до ґрунтів різних типів

Найменування способу зміцнення	Технологічний критерій (твердість поверхні, HRC)	Економічний критерій (продуктивність процесу (см ² /хв.)	Екологічний критерій (високий рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони)
Електродугове із застосуванням боронітромаєріалів	60-64	до 20	оксиди азоту
Наплавлення порошковими дротами	60-64	16-36	Зварювальні аерозолі, HF, SiF ₄
Газополуменеве порошкове наплення	60-64	35-80	СО, тверді мікрочастинки
Точкове наплавлення електродами Т-590, Т-620	60-64	20-40	зварювальні аерозолі
Електроконтактна обробка	60-62	60-100	без викидів шкідливих речовин у повітря

Проведення процесу в охолоджувальній рідині забезпечує також відсутність або мінімалізацію явищ зниження втомної міцності та ударної в'язкості, що властиві багатьом процесам із значними тепловкладеннями в деталь. Це робить можливим застосування способу зміцнення для робочих органів, що будуть експлуатуватися на ґрунтах різних типів, без яких-небудь обмежень.

Експлуатація робочих органів на ґрунтах різних типів суттєво відрізняється за інтенсивністю зношення, характером і місцєрозміщенням зношень. Для уникнення цих явищ і адаптування зміцнених деталей до певних ґрунтових умов необхідно проводити додаткове зміцнення, зокрема, точковим наплавленням [26].

Для наплавлення сталевих швидкозношуваних деталей, що працюють в умовах переважно абразивного зношування, найбільш підходять покриті штучні електроди для дугового наплавлення Т-590 та Т-620. Наплавленому ними металу властиві висока твердість (63–64 HRC) і зносостійкість в умовах зношування абразивними матеріалами.

Електроди Т-590 мають знижений опір до навантажень, тому їх застосування доцільне переважно для легких (піщаних) ґрунтів. Для придання міцності наплавленому металу до складу електродів Т-620 включено титан (0,5–1,5%), тому наплавлені деталі можуть витримувати помірні та навіть ударні навантаження й експлуатуватися на важких глинистих ґрунтах [21].

Тому, виходячи з умов забезпечення максимально можливої зносостійкості робочих поверхонь і самозагострення леза, зміцнення лезових поверхонь ножів відвалів необхідно проводити для умов експлуатації на піщаних і субпіщаних ґрунтах з робочого боку, а для глинистих, чорноземних – з неробочого.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Загальні основи компоновки зварювальних роботів

Простір (рис. 1), у якому може бути виконавчий пристрій при функціонуванні зварювального робота (ЗР). Вихід ЗР за межі робочого простору у разі будь-якої можливої несправності у системі обмежується механічними упорами чи іншими пристроями. Переміщення виконавчого пристрою ПР після спрацьовування упорів відбувається у робочому просторі у відповідності до ГОСТ 25686.

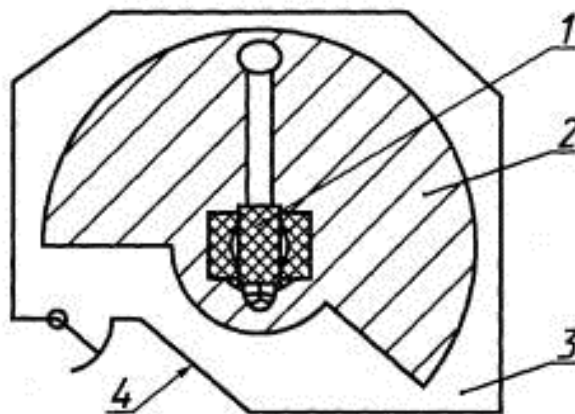


Рис. 6.1. Робоча зона ЗР:

1 – промисловий робот; 2 – робочий простір; 3 - огорожений простір; 4 – захисні засоби

При експлуатації ЗР та засобів захисту осіб та обслуговуючого персоналу повинні враховуватися специфічні властивості ЗР, пов'язані з особливостями конструкції, виконуваних функцій, динаміки та алгоритмів керування переміщенням робочих органів. Засоби захисту розробляють з урахуванням необхідності знаходження обслуговуючого персоналу в робочому просторі ЗР при його включенні, програмуванні, контролі та обслуговуванні, при цьому має бути врахована можливість виникнення небезпечної ситуації, пов'язаної з неузгодженістю роботи ЗР та пов'язаного з ним обладнання.

Спосіб захисту осіб та обслуговуючого персоналу обирають з урахуванням аналізу конструкції ПР, методів його програмування та обслуговування. Перед вибором способу захисту мають оцінюють шкідливі

виробничі фактори та ризик (імовірність ризику) виникнення небезпечної ситуації.

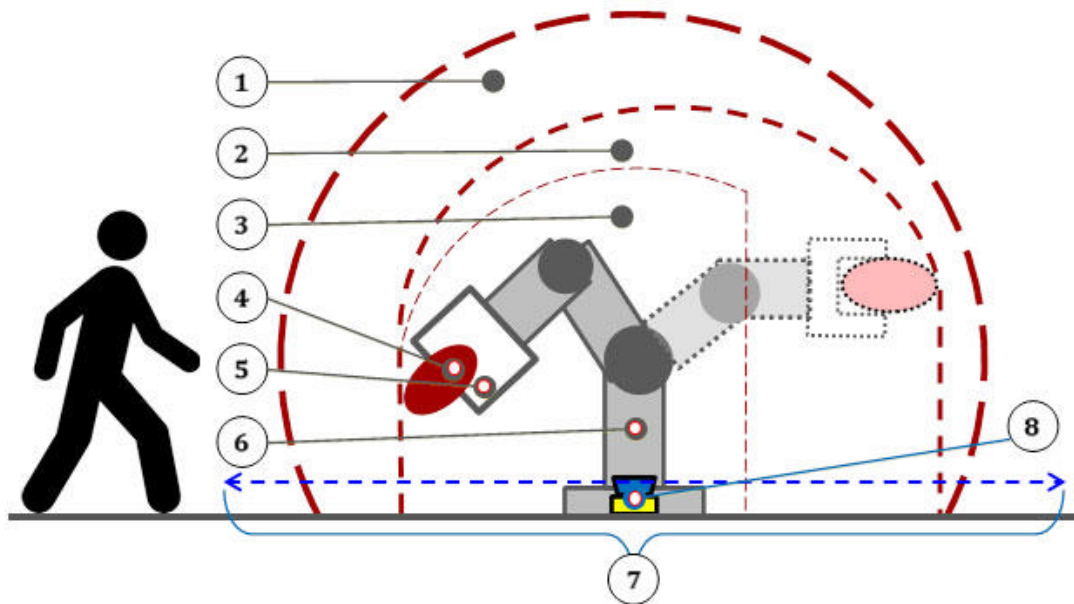


Рис. 6.2. Приміщення для роботизованого зварювального обладнання (Robotics Industries Association, RIA): 1 - максимальний робочий простір; 2 - обмежений простір; 3 - робочий простір; 4 заготовка; 5 - кінцева точка; 6 – маніпулятор; 7 - охоронний простір; 8 захисний пристрій або бар'єр

Забезпечення безпеки осіб та обслуговуючого персоналу ґрунтується 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 ЗР, 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 блокуванням, а також використання пристроїв виявлення;

- організація робочих місць обслуговуючого персоналу таким чином, щоб усі роботи з налагодження та обслуговування ЗР 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.

6.2 Порядок оцінки безпеки роботи зварювальних роботів

Оцінювання безпеки ЗР при розробці, контролі та випробуваннях повинно передбачати:

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

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

- оцінювання ступенів ризику виникнення різноманітних небезпечних ситуацій;

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

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

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

а) несправність або пошкодження:

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

- 2) джерел живлення або розподільних пристроїв,
- 3) систем управління ЗР, давачів, або інших пристроїв, що забезпечують безпечну роботу;
- б) рухомі елементи ЗР, що становлять механічну небезпеку як самостійно, і при взаємодії з елементами сполученого устаткування;
- в) накопичена енергія рухомих елементів, електричних зарядів, гідравлічних чи пневматичних систем ЗР;
- г) електричні, гідравлічні чи пневматичні джерела живлення;
- д) шкідливі виробничі фактори, пов'язані з технологічним процесом, що обслуговує ПР:
 - 1) робота з вибухонебезпечними, або горючими матеріалами,
 - 2) робота в агресивному або корозійному середовищі,
 - 3) робота з радіоактивними матеріалами,
 - 4) робота за умов високих, або низьких температур;
 - е) акустичний шум, що створюється ЗР або суміжним устаткуванням;
 - ж) виробничі радіо- та електростатичні завади, а також пошкодження, що спричиняються вібрацією або ударом;
 - і) суб'єктивні помилки обслуговуючого персоналу;
 - к) пов'язані з порушеннями вимог ергономіки при розробці конструкції та системи управління ПР,
 - л) пов'язані з недостатньою кваліфікацією персоналу.

Пропоновані у проекті рішення пов'язані із застосуванням систем керування спеціальними режимами роботи, які допускають лише контрольовані та керовані рухи, використанням кнопок керування, систем оповіщення.

6.3. Вимоги безпеки при експлуатації електроустановок

Дія струму на людський організм залежить від низки умов. Вона може бути тепловою (опіки електричною дугою), фізико-хімічною (електроліз-розклад крові), біологічною (ураження нервових центрів і тканин організму),

механічною (розрив тканин), а також комплексною, включаючи всі перелічені ураження.

Дія електричного струму на організм людини носить характер внутрішнього (загального) , або зовнішнього (місцевого) ураження. При зовнішньому ураженні струмом проходить так звані електричні травми , а при ураженні внутрішніх органів людини – електричні удари.

До зовнішніх електричних травм, вражаючим окремі частини тіла відносять опіки(так звані електричні знаки) і металізацію шкіри. Найбільш небезпечним є електричний удар, так як він викликає порушення фізіологічних центрів в організмі, а іноді параліч нервових центрів, які керують диханням і серцевою діяльністю людини. Електричний удар характеризується втратою свідомості, появою судом, частковим або повним припиненням дихання і серцевої діяльності. Степінь дії електричного струму на тіло людини залежить від ряду факторів : сили струму, напруги і частоти струму, часу дії, шляхів проходження через тіло стану організму (опору) та ін. Чим вища сила струму тим небезпечніша його дія. Смертельним для людини є струм силою 0,1А і вище. Струм силою 0,05-0,1 А є дуже небезпечним, оскільки викликає запаморочення, іноді смерть, а при 0,02-0,03 А людина не може відірвати рук від провідника через судому м'язів під дією струму. Тільки струм силою нижче 0,005 А і нижче є безпечним. Нещасні випадки зі смертельними наслідками виникають не лише за напруги 220 В і 110 В, але й за 40 В. Тому відносно безпечною є напруга до 36 В з врахуванням навколишніх умов (вологості, температури, запиленості приміщень та ін.) Частота струму також є важливою. Її збільшення зумовлює зменшення небезпеки електротравматизму. Струм звичайної промислової частоти 40-60 Гц є найбільш небезпечним, а струм високої частоти 500-600 Гц і вище, з точки зору електротравматизму є безпечним. Але струми високої частоти небезпечні можливістю завдання опікових травм.

Як змінний так і постійний електричний струми вище певних значень небезпечні для людини, оскільки змінні струми діють на нервову систему, а постійні спричиняють опіки і рідше електричні удари.

При використанні електроустановок слід використовувати безпечну напругу, ізолювати дроти і частини електроустановок, огорожувати силові установки, використовувати системи електричних і механічних блокувань, які б запобігали можливості контакту людини з електрострумом, використовувати захисне заземлення і індивідуальні засоби захисту.

Заземленню підлягають всі металічні частини машин, механізмів, конструкцій, які можуть бути під напругою у випадку порушення ізоляції (наприклад корпуси електродвигунів). Перевірку справності заземлення виконують не рідше одного разу на три місяці.

Для потужних електродвигунів в мережі 380/220 встановлюють автоматичне захисне відключення за допомогою спеціальних вимикаючих приладів - реле, за якого пошкоджене електрообладнання автоматично вимикається. Цей спосіб захисту є найбільш досконалим, оскільки при пошкодженні ізоляції і появі напруги реле миттєво вимикає установку від електромережі.

Електромонтажні і ремонтні роботи на електромережах і установках повинні, як правило, виконуватись лише після виключення струму. Робота під напругою допускається лише у виняткових випадках (аварійних), з точним дотриманням правил безпеки і з використанням засобів індивідуального захисту і спеціальних інструментів з ізольованими ручками (з бекеліту, резини, ебоніту та ін.)

До ізолюючих захисних засобів відносять виготовлені з ізоляційного матеріалу (бекеліту, фарфору, дерева, резини, пластмаси та ін.) ізолюючі і вимірювальні штанги, штанги для накладання тимчасових переносних заземлень, кліщі для зняття і встановлення трубчастих запобіжників, а також діелектричні рукавиці, калоші і боти, резинові ковбики та ін. До допоміжних

запобіжних засобів відносять запобіжні пояси, монтажні кігті драбини, захисні окуляри , протигази та ін.

До основних ізолюючих захисних засобів відносять оперативні і вимірювальні штанги, ізолюючі і струмовимірювальні кліщі, вказівники напруги та ін.

Допоміжними захисними засобами, які використовуються в електроустановках вище 1000В є діелектричні рукавиці і боти, гумові коврики, ізолюючі підставки на фарфорових вставках.

Під час огляду діючих електроустановок забороняється виконувати будь-які роботи, за виключенням робіт зв'язаних з запобіганням аварії або нещасного випадку. При огляді забороняється знімати загородження силових проводів , деталей, що обертаються заходити за огороження та бар'єри . При знаходженні в закритих розподільчих приладах (з напругою вище 1000В) замикання будь-якої струмоведучої частини на землю не вартує приближуватись до неї ближче 4-5 м для уникнення дії крокової напруги.

Персоналу, який постійно обслуговує виробниче електрообладнання з напругою до 1000В, дозволяється відкривати при огляді дверцята кафів, щитків, пускових приладів, пультів управління та ін. . При огляді цехових електроустановок про порядку поточної експлуатації можна виконувати невеликі і недовгі роботи (наприклад, чистку електрообладнання від пилу, заміну перегорівши вставок плавких запобіжників).

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі для отримання основних наукових і практичних результатів були використані методи, що базуються на основних положеннях робототехніки, аналізу зображень, медів автоматизованої електронної мікроскопії, статистичні методи. Аналітичні методи базувалися на застосуванні морфологічного аналізу зображень із розділів теорії оптико-цифрованих методів фрактодіагностування. Експериментальні методи були використані при проведенні лабораторних досліджень з метою визначення ефективності використання розробленого методу роботизованого зварювання та наплавлення захисних покриттів в середовищі вуглекислого газу та кисню у складі 30 %. У відповідності з технологією виготовлення було підібрано основне зварювальне обладнання та оснастка.

Для складання елементів конструкції виробу використаний зварювальний кондуктор та пневмопритискачі, які забезпечують достатнє складальне зусилля та швидке закріплення і вивільнення вузлів, які складаються.

Згідно базової технології збирання-зварювання ковша грейфера виконується з використанням ручного дугового зварювання. Зміцнення ножів здійснюється електродами Т-590. Проведений критичний аналіз технології виготовлення ковша грейфера дозволив замінити низькопродуктивне ручне дугове зварювання на роботизоване зварювання в CO_2 дротом діаметром 1,2 мм.

Для наплавлення ножа бульдозера обрали спосіб і режим наплавлення (без коливань, «кутом назад», зі швидкістю 9 м/год). Отримали частку основного металу в 26%. Проведено дослідження мікроструктури зони термічного впливу при наплавленні. Виявлено, що вона складається з ділянок зон перегріву з відманштетовою структурою і нормалізації з дрібнозернистою ферито-перлітною структурою. Твердість наплавленого шару складає 58 HRC.

Морфологічний аналіз зламів наплавлених шарів металу розвинутий у роботі спрямований на розроблення методів та систем для оцінювання

фрактальної розмірності та кількості ямок на поверхнях руйнування. Зображення поверхонь зламів несуть важливу діагностичну інформацію, на підставі дослідження яких інженер може робити висновки про якість та тримкість шва. Оцінювання стану фрактограм використовується також при вдосконаленні технології зварювання. Особливо цінним є те, що діагностично значущу інформацію про характер руйнування можна отримати із застосуванням електронної скануючої мікроскопії на різних масштабних рівнях, у широкому діапазоні збільшень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chan, H., Cherukara, M., Loeffler, T.D. et al. Machine learning enabled autonomous microstructural characterization in 3D samples. *npj Comput Mater.* 2020, 6(1), DOI:10.1038/s41524-019-0267-z
2. Emelianova E., Romanova V., Zinovieva O., Balokhonova R. The effects of surface-layer grain size and texture on deformation-induced surface roughening in polycrystalline titanium hardened by ultrasonic impact treatment. *Mater. Sci. Eng. A* 2020, 793, 139896, DOI:10.1016/j.msea.2020.139896
3. Perera R., Guzzetti D., V. Agrawal V. Optimized and autonomous machine learning framework for characterizing pores, particles, grains and grain boundaries in microstructural images, *Computational Materials Science* Volume 196, 2021, 110524, DOI:10.1016/j.commatsci.2021.110524.
4. Chunguang Shen, Xiaolu Wei, Chenchong Wang, Wei Xu A deep learning method for extensible microstructural quantification of DP steel enhanced by physical metallurgy-guided data augmentation, *Materials Characterization*, 2021, Vol. 180, 111392, DOI:10.1016/j.matchar.2021.111392
5. Juwon Na, Gyuwon Kim, Seong-Hoon Kang, Se-Jong Kim, Seungchul Lee Deep learning-based discriminative refocusing of scanning electron microscopy images for materials science, *Acta Materialia*, 2021, Vol. 214, 116987, DOI:10.1016/j.actamat.2021.116987.
6. Tran A., Tran H. (2021) 2D Microstructure Reconstruction for SEM via Non-local Patch-Based Image Inpainting. In: *The Minerals, Metals & Materials Society (eds) TMS 2021 150th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978%2D3%2D030%2D65261%2D6_45
7. Jung J., Yoon J.I., Park H.K., Jo H., Kim H.S. Microstructure design using machine learning generated low dimensional and continuous design space, *Materialia*, 2020, 11, art. no. 100690, DOI:10.1016/j.mtla.2020.100690

8. Raj, M., Thakre, S., Annabattula, R.K. et al. Estimation of Local Strain Fields in Two-Phase Elastic Composite Materials Using UNet-Based Deep Learning. *Integr Mater Manuf Innov* 2021, 10, 444–460, DOI:10.1007/s40192-021-00227-2
9. Tsopanidis S., Moreno R.H., Osovski S. Toward quantitative fractography using convolutional neural networks, *Engineering Fracture Mechanics*, 2020, 231, art. no. 106992, DOI:10.1016/j.engfracmech.2020.106992.
10. Yuekai Liu, Liang Guo, Hongli Gao, Zhichao You, Yunguang Ye, Bin Zhang Machine vision based condition monitoring and fault diagnosis of machine tools using information from machined surface texture: A review, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2022, Vol. 164, 108068, DOI:10.1016/j.ymsp.2021.108068.
11. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов [Текст] / В.Г. Сорокин. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
12. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] / Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич, А.И. Акулов. - М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
13. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением [Текст] / С.И. Думов . - Л.: Машиностроение, 1987. – 461 с.
14. Акулов А.И. Сварка в машиностроении. [Текст] / А.И. Акулов. - М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
15. Александров А.Г. Эксплуатация сварочного оборудования [Текст] / А.Г. Александров, И.И. Заруба, Н.В. Пиньковский– К.: Будивельник, 1990. – 224 с.
16. Гитлевич А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / Л.А. Этингоф, А.Д. Гитлевич - М.: Машиностроение, 1972– 280 с.
17. Винокуров В.А. Сварка в машиностроении. [Текст] / В.А. Винокуров. - М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
18. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст] / В.Н. Волченко. - М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.

19. 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.
20. Гурбанов А.Г., Ахмедов Б.М. Оценка надежности фонтанной арматуры. *Нефтепромысловое машиностроение*. 1970., №8. С. 45-47.
21. Кабрал Х. И., Мозберг Р. К. О характере разрушения твердых сплавов при абразивной эрозии. *Труды ТПИ*. 1970. Серия А. № 294. С. 17-22.
22. 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.
23. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / под ред. Л. С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
24. Гуревич Б. Г., Говязина Е. А. Электролизное борирование: монография. М.: Машиностроение, 1976. 71 с.
25. Юрьев В.Т. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники [Текст] / В.Т. Юрьев. - М.: Машиностроение, 1972. – 52 с.
26. Восстановление деталей машин: справочник / под ред. В. П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003. 526 с.
27. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст] / А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2005 – 268 с.
28. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений [Текст] / В.С. Корсаков. - М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
29. Бирюков В. И., Виноградов В. Н., Мартиросян М. М. и др. Абразивное изнашивание газопромыслового оборудования: монография. М.: Недра, 1977. 207 с.
30. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] / Б.Е. Патон. - М.: Машиностроение, 1974. –767 с.

31. Красовский А.И. Основы проектирования сварочных цехов [Текст] / А.И. Красовский. –М.: Машиностроение, 1980. - 319 с.
32. Киселева Г. И., Тимашов Г. В. Сравнительная эффективность работ по предотвращению выноса породы из скважин на Базайской группе газовых месторождений. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: Реф. сб. ВНИИЭГАЗПРОМа. 1974. №8 С. 7-11.
33. Чвертко, А.И. Основы рационального проектирования оборудования для автоматической и механизированной электрической сварки и наплавки [Текст] / А. И.Чвертко. - К.: Наукова думка, 1988. - 240 с.
34. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом [Текст] / А.Г. Потапьевский, ред. изд-ства Г.Н. Соболева - М.: Машиностроение, 1984.-80 с.
35. Акунов, В. И., Иоселевич К. С. Об износе помольных камер струйных мельниц для сверхтонкого измельчения материала *Химическое машиностроение*. 1964. №6. С.16-23.
36. Окружнов В. А., Левин С. М. Натурные исследования реальных деталей и узлов газораспределительного пункта. *Нефть и газ*, М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина. 1976. Вып. 12. С. 132-134.
37. Виноградов В. Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание: монография / за ред. В. Н. Виноградова. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
38. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник. М.: Металлургия, 1978. 392 с.
39. Рахштадта Л.Г. Термическая обработка в машиностроении: справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
40. Гаркунов Д. Н. Триботехника: учебник. М.: Машиностроение, 1989. 272 с.
41. Ляхович Л. С, Ворошин Л. Г. Борирование стали: монография. М.: Металлургия, 1967. 120 с.
42. Белоусов В. Я., Муравья Е. С., Колеватова Р. А., и др. Увеличение долговечности деталей газотранспортного оборудования износостойкими

покрытиями на основе карбида бора. *Депонированные рукописи* 1979. №87. С. 88-89.

43. Kah, P., Shrestha, M., Hiltunen, E. et al. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *Int J Mech Mater Eng* 10, 13 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40712-015-0042-y>
44. Kuss A., Dietz T., Ksensow K., Verl A. Manufacturing Task Description for Robotic Welding and Automatic Feature Recognition on Product CAD Models, (2017) *Procedia CIRP*, 60 , pp. 122-127.
45. Shen W., Hu T., Zhang C., Ye Y., Li Z. A welding task data model for intelligent process planning of robotic welding, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (2020) 64 , art. no. 101934.
46. Rout, Amruta; Deepak, B.B.V.L.; Biswal, B.B. (2019). Advances in weld seam tracking techniques for robotic welding: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 56, 12–37. doi:10.1016/j.rcim.2018.08.003
47. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник / Я.І. Проць - Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. - 232 с.
48. Поезжаева, Е. В. Охрана труда при использовании промышленных роботов / Е. В. Поезжаева, А. Г. Федотов, П. В. Заглядов. - Текст: непосредственный // Молодой ученый. - 2015. - № 16 (96). - С. 225-228. - URL: <https://moluch.ru/archive/96/21609/> (дата звернення: 13.05.2021).
49. Toni Retsch, Guido Schmitter, Albert Marty Принципы безопасности для промышленных роботов URL: <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000239%26listid%3D010000000100%26listpos%3D10%26lsz%3D17%26nd%3D857000239%26nh%3D1%26>
50. Анандан Т. Н. Роботы и люди: безопасное сотрудничество URL: <https://controleng.ru/innovatsii/robototekhnika/lyudi-i-koboty/>

51. Xiwei Wang Improvement to structure details in ship sections for robotic welding: A process design for structure details optimization, Thesis for the degree of Master in MT-DPO at Delft University of Technology, 2016. - 107p.
52. Liu Z., Bu W., Tan J. Motion navigation for arc welding robots based on feature mapping in a simulation environment, J. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2010, 26(2), 137-144.
52. Min-jae Oha, Sang-Moo Leeb, et al. Design of a teaching pendant program for a mobile shipbuilding welding robot using a PDA, Computer-Aided Design Volume 42, Issue 3, 2010, P. 173-182.
53. Peter Sorenti, Efficient robotic welding for shipyards - virtual reality simulation holds the key, Industrial Robot: An International Journal, 1997, Vol. 24 Iss 4 pp. 278-281.
54. <http://www.valkwelding.com/en/welding-automati>