

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній рівень)

Автоматизоване оцінювання та класифікація небезпеки дефектів за результатами дефектоскопії поверхні металів (комплексна тема)

Виконавли: студенти

4

курсу,

групи

КАс-41

Спеціальність 151

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва спеціальності)

Литвин А.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Шевчук О.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Марущак П.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

А н о т а ц і я

Литвин Андрій Романович, Шевчук Олег Романович – Автоматизоване оцінювання та класифікація небезпеки дефектів за результатами дефектоскопії поверхні металів (комплексна тема).

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

Об'єктом дослідження є процес автоматизації зварювання ковшів грейферів та визначення поверхневих дефектів зварних швів.

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

Технічні рішення проекту передбачають вирішення наступних завдань: автоматизація основних і допоміжних операцій робототехнічного зварювання; оптимізація робототехнічного зварювання; підвищення надійності функціонування систем управління в результаті застосування сучасних методів діагностики і прогнозування працездатності зварних з'єднань; аналіз інформації про результати процесу зварювання з фіксацією відхилень від заданих параметрів оптимальних режимів.

Робототехнічне зварювання розглянуто як технологічний процес маніпулятора, що забезпечує рух зварювального інструменту по складній траєкторії. Використання робототехніки дозволяє застосовувати найпродуктивніші режими зварювання за оптимального формування зварних швів, підвищувати густину струму, збільшити реальну глибину проплавлення, забезпечити додаткове зростання продуктивності і найголовніше зменшення зварювальних деформацій. Такий підхід до проблеми роботизації дозволяє успішно вирішувати відносно прості технологічні проблеми зварювання ковшів грейферів.

Lytvyn Andrii Romanovych, Shevchuk Oleh Romanovych - Automated assessment and classification of defects according to the results of defectoscopy of metal surfaces (complex project).

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

The object of research is the process of automation of welding of grab buckets and determination of surface defects of welds.

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

Technical solutions of the project provide for the solution of the following tasks: automation of basic and auxiliary operations of robotic welding; optimization of robotic welding; increasing the reliability of control systems as a result of the application of modern methods of diagnosis and prediction of welds; analysis of information about the results of the welding process with fixation of deviations from the specified parameters of the optimal modes.

Robotic welding is considered as a technological process of the manipulator, which provides the movement of the welding tool on a complex trajectory. Use of robotics allows to apply the most productive modes of welding at optimum formation of welds, to increase current density, to increase real depth of penetration, to provide additional growth of productivity and the most important reduction of welding deformations. This approach to the problem of robotics allows you to successfully solve relatively simple technological problems of welding buckets grabs.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Роботизоване зварювання та наплавлення	13
1.2 Критичний аналіз існуючої технології виготовлення ковша грейфера та обґрунтування альтернативного варіанту	19
2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	
2.1. Технічні умови на виготовлення ковша грейфера	23
2.2. Вибір зварювальних матеріалів	26
2.3. Режими роботизованого зварювання ковша грейфера	29
2.4. Техніка і технологія складання та роботизованого зварювання ковша грейфера	31
2.4.1. Послідовність виконання операцій складання-зварювання ковша грейфера	33
2.4.2. Приймальний контроль якості зварних з'єднань ковша грейфера після роботизованого зварювання	34
2.5. Техніка і технологія роботизованого наплавлення ножів ковша грейфера	36
2.6. Вибір стандартного устаткування	38
2.7. Вимоги до експлуатації зварювальних роботів	40
2.8. Розробка спеціалізованого обладнання для виготовлення ковша грейфера	41
2.9. Вплив структури зварного шва (наплавки) створеної роботизованим способом	45
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	
3.1. Засоби тензо- і динамометрії	61
3.2. Автоматизований спосіб дослідження деформівної здатності зварного шва одержаного роботизованим способом	72
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	

4.1. Актуальність охорони праці	82
4.2. Правила техніки безпеки при роботі в лабораторіях	83
4.3. Санітарно-гігієнічні вимоги до лабораторного приміщення	84
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90

ВСТУП

Використання промислових роботів для автоматизації дугового зварювання плавленням сприяє отриманню продукції високої якості, скорочення термінів і зменшення вартості переходу на нові конструкції органів землерийної та кар'єрної техніки наплавленням яких було і продовжує залишатися однією з важливих науково-технічних завдань, що визначають розвиток нових і спеціальних галузей машинобудування, які висувають високі вимоги до вибору матеріалу для наплавлення робочих органів машин і механізмів.

Зокрема, якщо середня швидкість ручного дугового зварювання плавким електродом у вуглекислому газі становить 16-20 м/год. Зварювальник фізично не в змозі якісно виконувати шви за швидкостей зварювання більше 40 м/год., а за роботизованого зварювання, особливо при виконанні швів з малими катетами (3,4 мм), ці швидкості можуть бути збільшені у 1,5-2,0 рази [1].

В багатьох випадках такі деталі і вузли що потребують відновлення працюють в контакті з твердими, рідкими або газоподібними середовищами, тобто робочі поверхні яких піддаються дії тертя, а відповідно механічному зношуванню. Відомо, що 80-90% машин та механізмів передчасно виходять з ладу не внаслідок поломок, а в результаті недопустимої зміни розмірів, форми або стану робочих поверхонь в результаті зношування.

Тривалість роботизованого зварювання зазвичай становить 20 - 40% від тривалості ручного та 60 - 80% механізованого способу зварювання [2]. Це досягається швидшим переміщенням робота при позиціонуванні і суміщенням операцій, що скорочує допоміжний час.

Відновлення робочих поверхонь зношених здійснюють за допомогою роботизованих маніпуляторів. Для наплавлення двовимірних валиків у використовують козлові маніпулятори. Вони є точні, але доступність зварних швів у тривимірних конструкціях є обмеженою. Шестивісні роботизовані маніпулятори з іншого боку, є більш гнучкими, оскільки можуть досягати

більш складних швів, відкриваючи більш широкий спектр застосувань роботі. Однак вони менш точні ніж порталні маніпулятори. У цій роботі обгрунтовано застосування роботизованого зварювання ковшів грейферів.

Відображені у бакалаврській роботі дослідження виконані у науково-дослідних лабораторіях кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв при виконанні студентської науково-дослідної роботи та курсового проектування з профільних дисциплін.

Повторюваність технологічних операцій, як правило, є набагато кращою, ніж їх абсолютна точність і часто є єдиним параметром точності, яку дає роботизоване зварювання, як зазначено у стандарті ISO 9283:1998. Тому значну увагу в роботі приділено вибору та обгрунтуванню параметрів зварювання.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Роботизоване зварювання та наплавлення

Зварювання та наплавлення є високотехнологічними процесами, які вимагають високого рівня компетенцій. Однак кількість професійних зварників не відповідає потребам галузі. За даними Американського зварювального товариства, до 2022 року галузь відчуватиме нестачу в 450000 зварників. Одним з виходів з цієї ситуації є роботизація процесу зварювання, що забезпечить вищу точність, меншу кількість відходів та швидше виконання. Завдяки набору доступних машин, роботів залучають до широкого спектру зварювальних процесів, включаючи відновлювальне наплавлення.



Рис. 1.1. Зварювання кутового шва (<https://www.robots.com/articles/what-are-the-advantages-of-robot-welding-over-manual-welding>)

Застосування зварювальних роботів має низку переваг, зокрема швидший, стабільний час циклу, відсутність перерви у виробництві та кращу якість зварювання. Загалом, за автоматизованого робототехнічного зварювання, процес займає менше часу, і виробники можуть скоротити витрати на оплату праці та техніку безпеки та заощадити матеріали.

Основні типи роботизованого зварювання

Незважаючи на те, що це далеко не повний перелік, нижче наведено деякі найпоширеніші форми роботизованого зварювання:

Дугове зварювання: за якого електрична дуга між електродом і металевою основою зумовлює інтенсивне нагрівання, плавлення і змішування металу зварювальних заготовок. Дугове зварювання використовують для деталей, що вимагають високої точності та повторюваності.

Опірне зварювання: струм пропускають між двома металевими заготовками, розплав утворений в результаті нагрівання з'єднує їх. Опірне зварювання є найекономнішим видом роботизованого зварювання і найкраще підходить для проектів термообробки.

Точкове зварювання: подібне до опірного зварювання, точкове зварювання з'єднує тонкі метали, через які проходить електричний струм. Зазвичай його використовують в автомобільній промисловості для з'єднання фрагментів корпусів автомобілів з листового металу.

Зварювання TIG: високоякісний процес, за якого дуга виникає між вольфрамовим електродом, що не витрачається, і металевою поверхнею. Також відоме газувольфрамове дугове зварювання (GTAW). Зварювання TIG застосовують, коли точність має найбільше значення.

Зварювання MIG: процес високої швидкості осадження, що включає постійну подачу дроту до нагрітого наконечника зварного шва. Також відоме як газовий дуговий зварювальний процес (GMAW).

Лазерне зварювання: лазерний генератор подає через волоконно-оптичний кабель лазерне світло через роботизовану ріжучу головку для зварювання деталей. Лазерне зварювання, включаючи дистанційне лазерне зварювання для важкодоступних місць зварювання, застосовують у великих обсягах для об'єктів виготовлення яких вимагає високої точності (у автомобільному секторі, в медичній або ювелірній промисловості).

Плазмове зварювання: іонізований газ проходить через мідну форсунку для набуття надзвичайно високих температур. Плазмове зварювання

застосовують коли потрібна гнучкість, оскільки швидкість і температуру можна легко регулювати.

Використання робототехнічного зварювання має певні особливості:

Якщо людина-оператор бере безпосередню участь у процесі зварювання, як це іноді трапляється з GMAW, це вже не є повністю роботизоване зварювання.

Якщо людина-оператор бере участь в управлінні кількома роботами, за встановлених та контрольованих умов безпеки, це система співпраці. Такі системи називають співпрацюючими роботами.



Рис. 1.2. Управління зварювальним роботом (<https://www.tws.edu/blog/skilled-trades/robotic-welder-operator-career-an-overview/>)

Підприємство може розглянути можливість використання зварювальних роботів, якщо виконуються один або кілька з цих пунктів:

- розширення виробництва;
- зменшення експлуатаційних витрат;
- покращення якості;
- ритмічність виконання робіт;
- зменшення важкої ручної праці;
- зменшення виробничого травматизму;

Для цього можуть бути використані зварювальні роботи.

Для перевантаження сипучих і дрібношматкових матеріалів (пісок, щебінь), а також для екскавації ґрунту застосовуються автоматичні

захоплювачі-грейфери. За кількістю лопатей розрізняють грейфери двохковшеві та багатоковшеві. По пристрою замикаючого механізму розрізняють грейфери одноканатні, двохканатні та моторні.

Двоканатний двохковшевий грейфер - це грейфер, у якого операцію підйому виконує одна линва, що зветься підтримуючою, а операцію розкриття грейфера інша линва - замикаюча.

Принцип роботи двохканатного двохковшевого грейфера наступний: захватними елементами служать ковші (два або декілька), що шарнірно кріпляться до нижньої траверси і за допомогою тяг здійснюється закривання та розкривання ковша. Робоча (замикаюча) линва пропущена через отвір в направляючій втулці (грейферах) верхньої траверси, проходить через блоки поліспасти і закріплюється через клинову втулку на верхньої або нижньої траверси в залежності від конструкції грейфера. Відкритий грейфер опускається на робочу поверхню (див. рис. 1.2) при випуску тросу з барабану лебідки підтримуючої S_2 і замикаючої линви S_1 . Закривається грейфер при натягу замикаючої линви S_1 , і нерухомої підйомної линви S_2 . Нижня і верхня траверси зближуються. Ковші, що захоплюють вантаж, сходяться до повного зіткнення ріжучих кромek. Підйом грейфера проводиться при одночасній вибірці підтримуючої S_2 та замикаючої линви S_1 у бік підйому. Розвантаження грейфера проводиться при нерухомій підтримуючій линві S_2 і випускаючій замикаючій линві S_1 . Ковші грейфера під дією власної ваги і ваги вантажу розкриваються, і вміст грейфера звільняється.

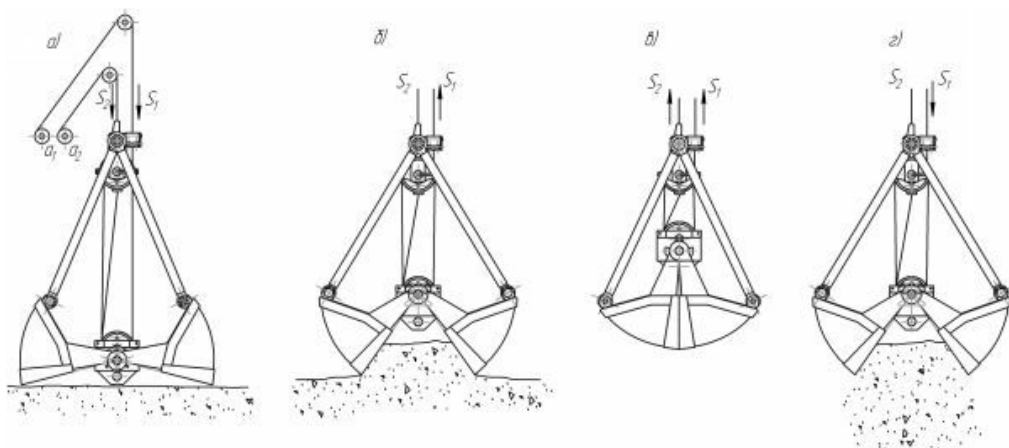


Рисунок 1.3. - Схема роботи двохканатного двохковшевого грейфера

Опір впровадженню ковша грейфера в матеріал залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, профілю ріжучої кромки і геометричної форми ковша.

Для полегшення впровадження грейфера в матеріал ріжуча кромка ковша стоншується (рис. 1.3 поз. 1). Для збільшення терміну служби робоча частина ковша облицьовувався накладками.

Конструкція виробу передбачає використання зміцнюючого зносостійкого наплавлення різальних кромek ножа. Каркас ковша грейфера також виготовляється з конструкційної низьковуглецевої сталі звичайної якості ВСт3сп4. Хімічний склад сталі, технологічна зварюваність і міцність при розтягу наведено в табл. 1.1 і 1.2 відповідно. Даний матеріал широко застосовується для виготовлення елементів зварних конструкцій. Відноситься до числа добре зварюваних матеріалів. Для даної сталі технологію зварювання вибирають виходячи з умов забезпечення комплексу вимог, головні з яких досягнення рівномірності зварного з'єднання з основним металом і відсутність дефектів в зварному з'єднанні [1]. За технологічною зварюваністю відноситься до II групи, для якої отримання високоякісних зварних з'єднань обумовлено суворою регламентацією режиму зварювання, необхідними спеціальними електродними матеріалами, нормальними температурними умовами, а в деяких випадках - підігрівом, проковкою швів, термічною обробкою. Так при зварюванні товщин більше 10 мм рекомендується підігрів до 120 ... 150 ° С.

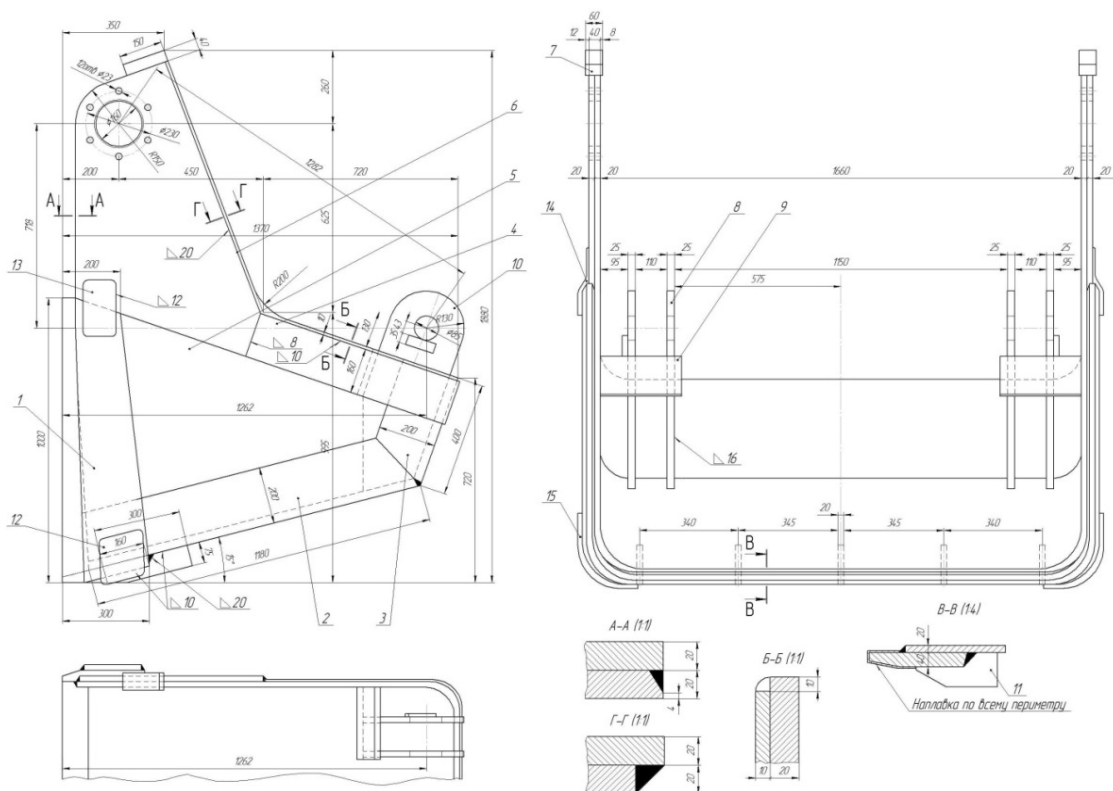


Рисунок 1.4. - Ковш грейфера: 1 - ніж; 2 - днище; 3 - задня стінка; 4 - смуга; 5 - бічний лист; 6, 7 - підкладки; 8 - вуха; 9 - смуга; 10 - планка; 11 - ребро; 12, 13 - накладка ліва; 14, 15 - накладка права

Таблиця 1.1 - Хімічний склад у % сталі ВСтЗсп4 [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,14...0,22	0,12...0,3	0,4...0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,3	до 0,08

Таблиця 1.2 - Технологічна зварюваність і міцність за розтягу сталі СтЗСп4 [2].

σ_B , МПа	δ , %	Група зварюваності		Рекомендовані способи зварювання
>		Зварювання плавленням	Контактна зварювання	
362	23	II	II	Р, ПЗ, ЕШ, ПФ, К

Примітка: Р - ручне дугове зварювання; ПЗ - зварювання плавким електродом в захисному

газі; ПФ - зварювання під флюсом; ЕШ - електрошлакове зварювання; К - контактне зварювання.

Аналіз конструктивних особливостей виробу дозволяє зробити наступні висновки. Довжина протяжності його прямолінійних швів не перевищує 1,5 м, що з урахуванням витрат часу установки і переналаштування зварювального автомата не дасть значного економічного ефекту в порівнянні з механізованим зварюванням. Крім того конструкція виробу передбачає при його виготовленні застосування великої кількості зварних швів малої протяжності (до 350 мм), які також доцільно виконувати з використанням напівавтоматичного зварювання.

Габарити виробу дозволяють забезпечувати його транспортування до місця монтажу на залізничних платформах в повністю готовому вигляді.

1.2 Критичний аналіз існуючої технології виготовлення ковша грейфера та обґрунтування альтернативного варіанту

Складання і зварювання ковша грейфера на базовому підприємстві виконується на спеціалізованій дільниці. Технологічний процес виготовлення розширювача, застосовуваний на базовому підприємстві, забезпечує необхідний випуск якісної продукції, в той же час можливі варіанти поліпшення технології, яка дозволяє скоротити час на деякі операції, що в свою чергу знизить собівартість виготовлення ковша грейфера.

Останнім часом рівень виробництва складально-зварювальної техніки значно підвищився. Це дозволяє використовувати більш сучасне обладнання, що в свою чергу забезпечує підвищення рівня механізації та автоматизації базового технологічного процесу.

Використання спеціальних пристосувань та інших пристроїв дозволить знизити витрати часу на трудомісткість виготовлення виробу, а також поліпшити його якість.

На базовому підприємстві технологія виготовлення ковша грейфера передбачає виконання прихоплень при його складанні покритими електродами способом ручного дугового зварювання. Виконання зварювальних операцій передбачає напівавтоматичне зварювання в середовищі CO_2 дротом $\varnothing 1,2$ мм. Крім зварювальних операцій в технологічному процесі виготовлення ковша також присутні наплавлювальні операції (зміцнення ножів ковша грейфера електродами марки Т-590).

Аналіз технологічних особливостей технології виготовлення ковша грейфера показав наступне. Відомо, що рівень механізації та автоматизації зварювального процесу суттєво впливає на його продуктивність. Крім того, використання нових високоефективних зварювальних і наплавлювальних матеріалів виражається в зменшенні собівартості зварювальних та наплавлювальних робіт, що дає економічний ефект при виготовленні зварних конструкцій. Хоча наплавлення має ряд відмінних особливостей у порівнянні зі зварюванням, проте ефективність застосування зварювальних матеріалів в даному випадку визначається загальним показником - продуктивністю розплавлення. Так, продуктивність наплавлення, ручним дуговим зварюванням покритими електродами, становить 0,8...3,0 кг/год, в той час як для самозахисного порошкового дроту це значення становить 4...9 кг/год, незалежно від техніки наплавлюваних шарів [3].

Таким чином, для виготовлення ковша грейфера при виконанні складально-зварювальних операцій представляється доцільною заміна порівняно низько продуктивних способів зварювання (РДС і напівавтоматичного зварювання в CO_2 дротом діаметром 1,2 мм) на високопродуктивний спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом. Крім того, також необхідно обґрунтувати доцільність застосування для зміцнення ножів ковша грейфера наплавлювальних електродів Т-590 з можливістю їх заміни на більш продуктивний спосіб наплавлення зносостійким порошковим дротом.

Основними вихідними даними для розробки технології складання і зварювання ковша грейфера є:

- креслення виробу - ковша двохканатного грейфера об'ємом 2 м³;
- технологічний процес складання зварювання ковша грейфера на базовому підприємстві;
- технічні вимоги на складання та зварювання.

З креслення виробу випливає, що ковш грейфера виконується у звареному варіанті.

Технологічний процес виготовлення ковша грейфера повинен забезпечувати випуск якісної продукції. Технологія має включати в себе заготівельні, слюсарні, складальні, зварювальні та контрольні операції.

Технологічний процес зварювання повинен забезпечувати задані геометричні розміри швів, необхідну якість і необхідні механічні властивості зварних з'єднань, а також мінімальні напруження і деформації зварюваних деталей.

Для вирішення поставленого завдання необхідно вирішити наступні питання:

- розробити технічні умови на виготовлення ковша грейфера;
- розробити та обґрунтувати параметри технологічного процесу виготовлення ковша грейфера;
- вибрати стандартне обладнання, розробити установку та оснащення для зварювання ковша грейфера;
- визначити потенційні небезпеки і призначити заходи щодо забезпечення техніки безпеки.



Рис. 1.5. KBWELD HD5 - 5-вісна роботизована система для зварювання ковшів
екскаваторів та грейферів [http://kiberys.com/robotic-systems-for-
welding/automotive-welding/1-2/](http://kiberys.com/robotic-systems-for-welding/automotive-welding/1-2/)

2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1. Технічні умови на виготовлення ковша грейфера

Усі матеріали, що застосовуються для виготовлення деталей за якістю та розмірами повинні відповідати ГОСТ, ОСТ або ТУ.

Відповідність застосовуваних матеріалів ГОСТ, ОСТ або ТУ має підтверджуватися сертифікатами підприємствами-постачальника. При відсутності даних, матеріал може бути використаний для виготовлення деталей після проведення додаткових випробувань, необхідних для встановлення відповідності матеріалу вимогам ГОСТ, ОСТ або ТУ.

Деталі, що подаються на ділянку складання-зварювання, повинні бути промарковані і мати супровідний ярлик, на якому поставлений штамп і підпис особи, відповідальної за якість.

При складанні деталей під зварювання повинна бути забезпечена точність складання деталей в межах розмірів і допусків, встановлених кресленнями.

Для забезпечення необхідної точності необхідно застосовувати спеціальні складально-зварювальні пристосування та кондуктори, які повинні виключати можливість деформацій і не ускладнювати виконання зварювальних робіт.

Деталі, що подаються на складальні операції повинні бути сухими та чистими.

Зварювані кромки і прилеглі до них зони металу шириною не менше 20 мм перед складанням повинні бути очищені від іржі, бруду, окалини, нагару та ін. На зварюваних кромках допускаються сліди іржі і окалина після прокатування.

За необхідності безпосередньо перед зварюванням проводиться додаткове очищення місць зварювання і видалення конденсаторної вологи: продукти очищення не повинні залишатися між складеними деталями.

Зачищення можна виконувати будь-якими способами, що забезпечують якість.

При складанні конструкції під зварювання місцеві завищені зазори між зварюваними деталями повинні бути усунені до початку загальної операції зварювання. Якщо усунути зазори підстисканням деталей неможливо, їх дозволяється заварити.

Зазор дозволяється заварювати при його довжині не більше 10% загальної довжини шва і шириною не більше 0,6 найменшої товщини зварювальних деталей.

Заповнювати збільшені зазори шматками дроту, електродами, смужками тонколистового металу і тому подібним забороняється.

Прихоплення елементів зварних з'єднань при складанні повинна виконуватися зварниками однієї і тієї ж кваліфікації з використанням тих же матеріалів, що і при виконанні зварних швів.

Прихоплення необхідно розмішувати в місцях розташування зварних швів. Довжина прихоплень повинна бути ≥ 40 мм.

Площа поперечного перерізу прихоплень допускається до половини площі поперечного перерізу, але не більше 6×6 мм для кутових, таврових, напусткових швів і не більше 10 мм по ширині і 5 мм по висоті для стикових швів.

При накладенні швів проектного перерізу прихоплення повинні переплавлятися.

Дозволяється накладення прихоплень поза місцями розташування швів для тимчасового скріплення деталей. Надалі ці прихоплення повинні бути видалені, а місця їх розміщення зачищені.

Після закінчення складальних робіт шви прихоплень і місця під зварювання повинні бути зачищені від шлаку, окалини, бризок та інших забруднень. Неякісні прихоплення повинні бути вирубані і виконані знову.

Для захисту металу від зварювальних бризок рекомендується використовувати рідкий концентрат сульфітно-спиртової барди КБЖ.

Концентрат КБЖ розбавляється в гарячій (50...60 °C) воді у відношенні 1:4 за вагою або 1:5 за обсягом і наноситься на поверхню зварюваних виробів тонким шаром на ширині 100...150 мм з обох боків на 1...2 години до початку зварювання.

Зварювання по вологому покриттю не допускається. Деталі, на які наноситься захисне покриття, повинні бути очищені від масел, емульсій та інших жирових речовин.

Складений ковш грейфера повинен бути проконтрольований і мати клеймо, яке свідчить про дозвіл на виконання наступних операцій.

Положення зварного ковша має забезпечувати найбільш зручні і безпечні умови для роботи зварника та отримання швів високої якості.

Для зварювання ковша рекомендується застосовувати маніпулятори, позиціонери, кантувачі та інші спеціальні пристрої.

Зварювання металоконструкцій повинно виконуватися в приміщеннях, виключаючи вплив несприятливих атмосферних умов на якість зварних з'єднань.

Допускається виконання зварювальних робіт на відкритому повітрі за умови застосування відповідних пристосувань для захисту місць зварювання, а також для захисту зварювальних поверхонь металоконструкцій від попадання атмосферних опадів та вітру.

Роботизоване зварювання повинно виконуватися з умовою обов'язкового заварювання кратерів. При багат шаровому зварюванні після накладення кожного шару необхідно зачистити шви і зварювані кромки від шлаку та усунути виявлені дефекти.

Після закінчення зварювання шви і прилеглі до них зони повинні бути очищені від шлаку, бризок і напливів металу.

Шви, що працюють в конструкції на розтяг і знакозмінні навантаження та мають зовнішні виступи, що утворилися в місцях доварювання і перекриттів окремих ділянок, повинні бути згладжені механічною зачисткою до утворення плавних переходів до основного металу і шва, що межує з виступом.

Зварювання повинне проводитися при температурі повітря не нижче 0°C. Зварювання при мінусовій температурі не рекомендується.

Рекомендується застосовувати джерела живлення постійного струму, що забезпечують більш високу стабільність дуги.

2.2. Вибір зварювальних матеріалів

Головна мета проектування технологічного процесу полягає в розробці такого способу виготовлення ковша грейфера, який є найбільш раціональним як з технологічної, так і з економічної точки зору при правильному і повному використанні всіх технічних можливостей обладнання і оснастки на найбільш вигідних режимах при мінімальних витратах часу, робочої сили і допоміжних матеріалів.

Критичний аналіз базової технології збирання-зварювання ковша грейфера показав доцільність заміни способу зварювання застосовуваного на базовому підприємстві на зварювання ковша високопродуктивним самозахисним порошковим дротом. При виборі дроту керувалися такими даними:

- призначенням конструкції, що виготовляється;
- маркою зварюваної сталі;
- вимогами до якості і зовнішнього вигляду зварних швів;
- просторовими положеннями швів.

Найбільш повно даним критеріям згідно з вимогами до виготовлення ковша грейфера відповідає самозахисний порошковий дріт ПП-АНЗ. Цей дріт застосовується без додаткового захисту для механізованого зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в нижньому положенні і рекомендується для зварювання в заводських умовах сталей товщиною більше 5 мм.

Метал шва, зварений порошковим дротом ПП-АНЗ, характеризується низьким вмістом неметалевих включень, добрим розкисленням, малою

кількістю азоту і водню. Виконані цим дротом шви щільні, без тріщин, добре формуються [4].

Основні характеристики порошкового дроту ПП-АНЗ наведено в табл. 2.1, механічні властивості металу шва і зварного з'єднання - в табл. 3.2, хімічний склад наплавленого металу - в табл. 3.3, показники плавлення - в табл. 3.4.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики порошкового дроту ПП-АНЗ [4].

Вид	Марка	Технічні умови	Діаметр, мм	Положення шва	Відповідність типу електрода за ГОСТ 9467-75
Самозахисний	ПП-АНЗ	ТУ 14-4-982-79	2,0; 2,3	Нижнє,	Э50А

Таблиця 2.2 - Механічні властивості металу шву і зварного з'єднання виконаного порошковим дротом ПП-АНЗ [4].

Тимчасовий опір розтягу		Відносне видовження, %	Ударна в'язкість (на зразках типу VI згідно з ГОСТ 6996-66)			
			Дж/см ²	кгсж/см ²	Дж/см ²	кгсж/см ²
МПа	кгс/мм ²					
500...530	51...54	27...29	167...196	16...20	98...137	10...14

Таблиця 2.3 - Хімічний склад наплавленого металу виконаного порошковим дротом ПП-АНЗ [4].

Вміст елементів в металі (по масі), %				
С	Mn	Si	S	P

0,08...0,12	1,0...1,2	0,3...0,4	0,02...0,025	0,02...0,03
-------------	-----------	-----------	--------------	-------------

Таблиця 2.4 - Показники плавлення порошкового самозахисного дроту ПП-АНЗ [4].

Продуктивність наплавлення, кг/год	Коефіцієнт	
	розбрикування, %	витрати дроту
5...9	1...3	1...3

Вимоги до умов поставки і зберігання дроту ПП-АНЗ:

1. Кожна партія дроту повинна мати сертифікат підприємства-виробника, що засвідчує її відповідність вимогам технічних умов і підтверджує результати хімічного аналізу та механічних випробувань металу шву і зварного з'єднання.

2. Поверхня дроту повинна бути гладкою, без механічних пошкоджень (розкриття замка, подряпини, надриви, вм'ятини та ін. не допускаються).

Допускається наявність поздовжніх рисок від волочіння і слідів технологічного мастила. Іржа на поверхні та в осерді дроту не допускається.

3. Дріт повинен зберігатися в сухому закритому приміщенні в умовах, що захищають його від впливу вологи, забруднення і механічних пошкоджень, при температурі не нижче плюс 15 °С і відносній вологості повітря не більше 50 %.

Гарантійний термін зберігання дроту 4 місяці.

4. У разі порушення герметичності упаковки дроту або умов його зберігання дріт перед зварюванням слід просушити (режим просушування: температура 230...250 °С, час витримки 2 ч. Термін придатності дроту після просушування, при зберіганні не більше 5 діб. Багаторазове (більше одного разу) просушування дроту не допускається.

5. Дріт після просушування повинен мати кольори мінливості від жовтого до коричневого. Відсутність кольорів мінливості - ознака недостатності часу або температури просушування. Поява синього кольору

свідчить про підвищену температуру просушування. Зварювання дротом синього кольору не допускається.

6. На робоче місце дріт слід подавати в закритих бляшаних банках або водонепроникному папері в кількості, необхідній для виконання роботи протягом однієї зміни. При цьому дріт повинен знаходитися в сухому, захищеному від опадів місці.

7. Після закінчення гарантійного терміну зберігання дроту, а також при його нетоварному вигляді слід провести вхідний контроль, який повинен складатися з таких операцій:

- зовнішньому огляду і обмір дроту (з числа придатних за зовнішнім виглядом і розмірами мотків відбирають 3%, але не менше 2 мотків для перевірки зварювально-технологічних властивостей дроту і механічних властивостей зварних з'єднань);
- перевірка зварювально-технологічних властивостей дроту при зварюванні односторонніх таврових зразків за ГОСТ 9466-75;
- визначення механічних властивостей зварних з'єднань.

До застосування у виробництві допускається дріт, що показав при випробуванні результати, що задовольняють вимогам (табл. 2.2 і 2.4).

2.3. Режими роботизованого зварювання ковша грейфера

Роботи з 6-ма ступенями вільності марки KUKA, ABB, Kawasaki або Fanuc з робочою зоною від 1,5 до 3 м можуть бути використані для зварювання грейфера. Також можна досягти більшого вильоту рук завдяки впровадженню лінійного блоку - сервоуправління (7-ї осі). Управління роботами KUKA здійснюють через лінійні блоки KUKA KL1500. Ця система підходить для зварювання довгих деталей.

Джерела живлення для дугового зварювання з водяним охолодженням виготовляють Fronius, Selco, Esab, Miller та інші потужністю зварювання до 600 А.

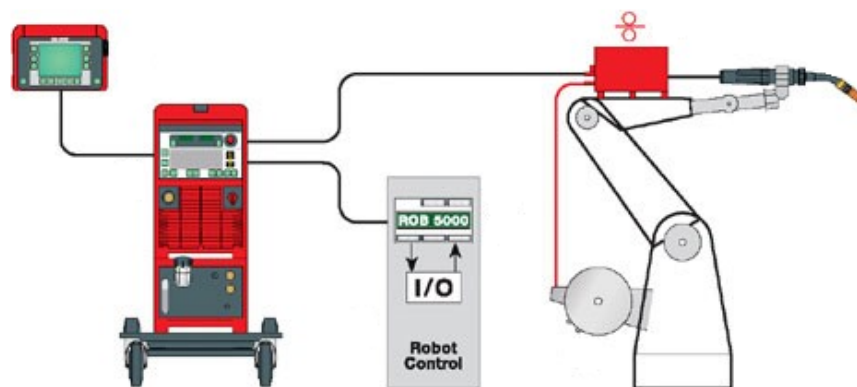


Рис. 3.1. Схема роботизованого зварювання

Зварювальний паличник із системою проти пробуксовувань та набором шлангів, через які в процес зварювання може подаватись захисний газ для дугового зварювання та дріт ПП-АНЗ. Для надійного збудження дуги вихідний виліт дроту не повинен перевищувати 30 мм.

При зварюванні стикових з'єднань кут відхилення дроту від вертикалі не повинен перевищувати 15° . При виконанні таврових і з'єднань внапуск кут між вертикальною площиною і дротом повинен бути в межах $30...45^{\circ}$.

При зварюванні виліт дроту повинен становити 30...60 мм. При підвищеному зазорі і зміщенні кромek стикових з'єднань зварювання необхідно виконувати на вильоті, збільшеному до 80 мм. Режими зварювання дротом діаметром 3 мм наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Режими зварювання ковша грейфера порошковим дротом ПП-АНЗ [10].

Тип зварного з'єднання	Товщина металу, мм	Номер шару	Швидкість подачі дроту, м / год	Зварювальний струм, А	Напруга дуги, В

Стикове без скосу кромок, двостороннє	8...10	Перший	112...142	250...300	24...28
		Наступний		300...350	24...28
Стикове зі скосом двох кро-мок, двостороннє	8...20	Перший	210...335	250...300	24...28
		Подальший		400...450	26...30
Напусткове	5...9	-	142...188	270...350	22...28
	10...20	-	210...236	360...380	29...33

2.4. Техніка і технологія складання та роботизованого зварювання ковша грейфера

До зварювання ковша грейфера слід приступати тільки після перевірки правильності підготовки та складання його деталей.

Швидкість повітряного потоку в зоні зварювання порошкового дроту повинна бути не більше 8...10 м/с.

Швидкість повітряного потоку слід вимірювати анемометром з точністю вимірювання 0,5 м/с.

Режим зварювання повинен відповідати технологічним вимогам з урахуванням товщини металу, типу з'єднання, просторового положення шва і зварювально-технологічних особливостей дроту.

Зварювання слід здійснювати на стабільному режимі. Граничні відхилення заданих значень сили струму і напруги дуги не повинні перевищувати 5%.

Перед початком зварювальних робіт необхідно контролювати готовність апаратури і якість дроту, а також відпрацьовувати режим зварювання на експериментальних зразках.

При встановленні параметрів режиму зварювання слід спочатку задати необхідну швидкість подачі дроту, потім відрегулювати напругу холостого ходу джерела з метою уникнення утворення пор, підрізів і підвищення розбризкування металу.

Зварювання всіх видів з'єднань в нижньому положенні необхідно виконувати «кутом назад», не допускаючи затікання шлаку попереду зварювальної ванни.

Шви з катетом більше 12 мм слід виконувати в кілька проходів.

Потрібно уникати перегинів порошкового дроту. Радіуси перегинів порошкового дроту повинні бути не менше 200 мм.

При однопрохідному зварюванні швів з катетом більше 8 мм дроту необхідно надавати поперечні коливання, аналогічні застосовуваним при ручному зварюванні.

Кожній наступний валик багат шарового шва зварних з'єднань слід виконувати після ретельного очищення попереднього валика і кромки від шлаку і бризок металу. Ділянки шва з порами, тріщинами і раковинами повинні бути видалені до накладання подальших валиків.

При двосторонньому зварюванні стикових з'єднань, а також зварюванні кутових і таврових з'єднань з повним проплавленням необхідно перед виконанням шва зі зворотного боку видаляти корінь шва до чистого бездефектного металу.

При вимушеній перерві в роботі, зварювання слід поновлювати після очищення від шлаку кратера і прилеглої до нього ділянки шва завдовжки 40...50 мм, ця ділянка і кратер повинні бути повністю перекриті швом.

При утворенні пропалів витеклий метал слід видалити, дефектну ділянку заварити ручним дуговим зварюванням.

Після закінчення зварювання поверхня конструкції і шви повинні бути ретельно очищені від шлаку, бризок і напливів.

Зварювані елементи в місцях накладання швів і прилеглі до них кромки шириною не менше 20 мм, а також місця примикання вивідних планок перед складанням повинні бути очищені до металевого блиску з видаленням окалини, іржі, жирів, фарби, бруду, вологи і т.п. У разі необхідності очистку кромок зварювальних деталей варто повторити безпосередньо перед зварюванням, при цьому в зазорі між крайками не повинні залишатися продукти очищення.

При складанні виробу прихоплення слід виконувати порошковим дротом марки, згідно технології виготовлення, або електродами аналогічного типу. Прихоплення необхідно розміщувати в місцях розташування зварних швів (за винятком місць перетину швів). У з'єднаннях, які не сприймають монтажні навантаження, довжина прихоплень повинна бути не менше 10% довжини проектних монтажних швів, але не менше 50 мм, а відстань між прихватками - не більше 500 мм. Катет прихоплень не повинен перевищувати 3...4 мм.

2.4.1. Послідовність виконання операцій складання-зварювання ковша грейфера

На ділянку складання-зварювання ковша грейфера надходять такі деталі: накладки ліві, накладки праві, ребра, планки, смуги, вуха, бічні листи, смуга, задня стінка, днище, ніж.

Складання-зварювання ковша грейфера виконується в наступній послідовності:

1. Вхідний контроль заготовок.
2. Укладання на монтажну плиту щік.
3. Встановлення та прихоплення до щік вушок, накладок та косинок.
4. Встановлення листа на монтажну плиту.
5. Встановлення та прихоплення зібраних вузлів до листа.

6. Встановлення та прихоплення розпірки.
7. Встановлення та прихоплення вушок і розпірок.
8. Встановлення та прихоплення пояса.
9. Установка зібраного вузла на технологічні упори.
10. Наплавлення ножів.
11. Встановлення та прихоплення ножів до корпусу ковша.
12. Транспортування зібраного ковша до зварювальної установки.
13. Механізоване зварювання ковша.
14. Транспортування звареного ковша на складальний майданчик.
15. Візуальний контроль якості.

2.4.2. Приймальний контроль якості зварних з'єднань ковша грейфера після роботизованого зварювання

Приймальний контроль якості зварних з'єднань ковша грейфера здійснюють зовнішнім оглядом і перевіркою розмірів 100% швів. Контроль розмірів зварного шва та визначення величини виявлених дефектів слід проводити вимірювальним інструментом (з точністю вимірювання $\pm 0,1$ мм) або спеціальними шаблонами для перевірки геометричних розмірів швів. При зовнішньому огляді рекомендується застосовувати лупу з 4...7-кратним збільшенням [11].

Допускається, застосування вибіркового контролю зварних з'єднань розкриттям (свердлінням) з подальшим заварюванням місць розкриття. Норма цього контролю - одне розкриття на кожні 50 м шва, а також усіх сумнівних ділянок шва.

Класифікація основних дефектів і способи їх попередження наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6. - Класифікація основних дефектів роботизованого зварювання і способи їх попередження

Дефект	Причини виникнення	Спосіб попередження
--------	--------------------	---------------------

	дефекту	дефекту
1	2	3
Кристалізаційні тріщини	Підвищений вміст вуглецю, сірки або інших домішок в основному металі	Перевірити хімічний склад основного металу. Зварювання сталі з підвищеним вмістом вуглецю і шкідливих домішок не допускається
Пори	Висока напруга дуги	Відрегулювати режим відповідно до рекомендацій, знизити напругу холостого ходу джерела живлення
	Наявність іржі, окалини, органічних забруднень на поверхні	Очистити поверхню металу
	Нестабільна подача дроту	Відрегулювати подаючий механізм напівавтомата
	Висока швидкість повітряного потоку, що впливає на зону зварювання	Захистити зону зварювання від вітру
	Зношення струмопідвідного наконечника	Замінити наконечник
	Застосування вологого, іржавого або нерівномірно заповненого шихтою дроту	Прожарити або замінити дріт. Іржавий і нерівномірно заповнений шихтою дріт використовувати заборонено

	Недотримання оптимальної величини вильоту	Встановити рекомендовану величину вильоту
Шлакові включення	Неповне очищення від шлаку попереднього шару (валика) шва. Затікання шлаку попереду дуги	Ретельно видалити шлак. Встановити задані параметри режиму зварювання відповідно до рекомендацій; виконати вказівки по техніці зварювання
Непровари	Неправильна підготовка кромки під зварювання; занижена величина зварювального струму	Перевірити величину конструктивних елементів кромки. Встановити правильний режим зварювання відповідно до рекомендацій
Підрізи	Завищена напруга дуги, порушення техніки зварювання	Зменшити напругу холостого ходу джерела живлення, виконати вказівки по техніці зварювання

2.5. Техніка і технологія роботизованого наплавлення ножів ковша грейфера

Процес наплавлення ножів ковша грейфера порошковим дротом ПП-АН170 проводиться таким чином.

Для наплавлення ніж ковша грейфера встановлюється на пристосуванні, що забезпечує можливість його наплавлення з трьох сторін.

Наплавлення виконують з коливальними рухами електродотримача. Наплавлення здійснюють на постійному струмі зворотньої полярності згідно з режимами (табл. 3.8) в наступному порядку:

- наплавлення середньої внутрішньої площини ножа;
- наплавлення правої бічної внутрішньої площини ножа;
- наплавлення лівої бокової сторони ножа;
- наплавлення торцевої частини ножа;
- наплавлення середньої зовнішньої площини ножа;
- наплавлення правої зовнішньої площини ножа;
- наплавлення лівої зовнішньої площини ножа;
- наплавлення перерізу внутрішніх поверхонь площин і торців ножа;
- наплавлення перерізу наплавлених зовнішніх поверхонь площин і торців ножа.

Таблиця 2.7. - Рекомендований режим наплавлення порошковим дротом ПП-АН170

Струм, А	Напруга, В	Швидкість наплавлення, м/год
400...420	30...32	8...12 (ширина наплавленого шару – 30...50 мм)

Наплавлення виконують в два шари за підвищеного вильоту (50...70 мм) з поперечними коливаннями електродного дроту. При напавленні другого шару можна допускати охолодження попередньо напавленого шару до температури нижче 400 °С.

Місця напавлених поверхонь площин і торців ножа необхідно зачистити від шлакових включень і зробити напавлення в один шар товщиною 2...3 мм.

Контроль якості напавленої поверхні здійснюється зовнішнім оглядом. Кількість тріщин повинна бути не більше десяти на один погонний метр напавленого валика. Періодично при використанні нової партії дроту

необхідно контролювати твердість металу, наплавленого на контрольні зразки, яка повинна знаходитися в межах 58...67 одиниць HRC.

2.6. Вибір стандартного устаткування

COMAU Smart5 NM Arc - це робот зі 6-ма ступенями вільності для дугового зварювання зі спеціальною конструкцією. Його оснащено контролером C5G. Це робот із середнім навантаженням на зап'ястя, 16 кг, і має робочу зону до 3100 мм. Робот оснащено технологією Hollow Wrist. Ця технологія дозволяє розміщувати з'єднувальні кабелі зварювального пальника всередині зап'ястя, споживання енергії зводиться до мінімуму для забезпечення екологічної сумісності, що значно підвищує його ефективність. Робот інтегрований із відомим зварювальним апаратом Fronius TPS6000 потужністю 600 ампер номінальної потужності.

Управління C5G використовує промислове ПК останнього покоління APC820 з технологією процесора Core2 Duo, здатне досягти високої продуктивності за низького споживання енергії.

Нове покоління електронних шин, на основі технології Hilscher, інтегрованих B&R у їх віддалене сімейство введення-виведення X20, забезпечує надійний та надійний інтерфейс у кожному додатку. Доступні модульні інтерфейси, такі як цифрові вводи-виводи, аналогові вводи-виводи та для багатьох типів кодерів, датчиків положення, роздільників тощо.

Апаратна архітектура, розроблена для управління за 16 осями в конфігурації "багаторучний" з пакетом програм керування. Можливе офлайн-3D програмування за допомогою Robosim Pro. Відкритий контролер C5G дозволяє розробляти власні алгоритми руху та спеціальні програми з використанням датчиків.

Автоматичне зварювання ковша грейфера порошковим дротом ПП-АНЗ і наплавлення ножів ковша дротом ПП-АН170 слід виконувати на постійному струмі зворотної полярності від джерел живлення, що мають жорстку або пологопадаючу зовнішню характеристику (допустиме зниження напруги - 3 В на 100 А). Для підбору оптимальних параметрів режиму зварювання з метою

зниження розбризкування розплавленого металу випрямляч має два ступені індуктивності згладжувального дроселя.

Для подачі порошкового дроту до місця зварювання та наплавлення слід застосовувати спеціалізований зварювальний автомат. Технічні дані напівавтомата наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8. - Технічні характеристики випрямляча Fronius TPS6000

Найменування параметра	Значення
Напруга мережі живлення, В	3×380
Частота мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А	600
Номінальна робоча напруга, В	45,5
Номінальний режим роботи (ТВ) при циклі 10 хв.,%	100
Найменший зварювальний струм, А	100
Найбільший зварювальний струм, А	700
Межі регулювання робочої напруги, В	19...49
Напруга холостого ходу, В	не більше 65
Регулювання зварювального струму	Східчасте
Кількість ступенів регулювання	28
Крутизна нахилу зовнішніх характеристик, В/А	не більше 0,06
Кількість зварювальних постів при багатопостовому зварюванні	4
Номінальний струм поста	315
Коефіцієнт корисної дії, не менше, %	80
Споживана потужність, при номінальному струмі, кВА	47

Зварювальна головка має наступні параметри

Найменування параметра	Значення
Діаметр електродного дроту:	1,6...2,0

суцільного перерізу порошкового	2,0...3,5
Максимальний зварювальний струм при ПВ-60%, А	500
Швидкість подачі дроту, м/год	58...582
Число ступенів регулювання	20
Вага порошкового дроту на касеті, кг	25
Габаритні розміри напівавтомату, мм	760×500×550

При налаштуванні робота слід приділяти особливу увагу правильності складання вузла подаючих роликів. Подаючі ролики ізольовані від валика і корпусу механізму подачі. Вибір нижніх роликів відповідного діаметру дроту здійснюють по таблиці, розташованій на механізмі подачі. Дріт подається по спеціальному подаючому каналу.

2.7. Вимоги до експлуатації зварювальних робіт

При різких (більше $\pm 5\%$ номінальної величини) коливаннях напруги в мережі зварювання неприпустима. Для зменшення коливань напруги в мережі зварювальне обладнання слід підключити до окремих фідерів трансформаторних підстанцій.

При підготовці напівавтомату до роботи слід виконувати такі вимоги:

- діаметр внутрішнього отвору струмопідвідного наконечника пальника повинен перевищувати діаметр дроту на 0,3 ... 0,5 мм (оптимальна умова для електричного контакту і просування дроту);
- в механізмі подачі направляючий канал і канавки роликів, що подають повинні бути співвісні (вузлові, що виключають зам'яття дроту); дріт верхніми грейферами механізму подачі повинен бути втоплений в канавки нижніх роликів на 2/3 діаметра з мінімально необхідним зусиллям притиснення (умова стабільної подачі дроту);

- необхідно, щоб були відсутні різкі перегини шлангу, а направляючий канал був чистим (умова для плавного просування дроту по шлангу);
- в залежності від діаметру дроту підбирають тримач. Для дроту діаметром 3 мм діаметр направляючого каналу повинен бути 4,7 мм;
- наконечник-мундштук підбирається по діаметру дроту. Добре проводять струм мідні наконечники довжиною 40...50 мм.

Для роботи при мінусовій температурі редуктори напівавтоматів слід заповнювати зимовим мастилом, наприклад ЦИАТИМ-201.

При контролі технічного стану зварювального обладнання перевіряють справність вимірювальних приладів, електричних кіл, механічних вузлів, шлангу та пальника.

Правильність показань вимірювальних приладів слід контролювати не рідше двох разів на місяць.

2.8. Розробка спеціалізованого обладнання для виготовлення ковша грейфера

2.8.1 Вибір установки для зварювання ковша грейфера

Технічні умови на використання порошкового зварювального дроту ПП-АНЗ обумовлюють виконання зварних з'єднань в нижньому та нахиленому положеннях. Базова технологія передбачає виконання зварювальних операцій на монтажній плиті з кантуванням ковша за допомогою кран-балки при виконанні певних зварювальних операцій. Даний технологічний процес є низькопродуктивним. Тому, для забезпечення виконання зварних з'єднань ковша грейфера в нижньому положенні, а також для скорочення часу на транспортні операції пов'язані з кантуванням виробу, виконана розробка спеціалізованої установки для зварювання ковша грейфера (рис. 2.9).

Основою зварювальної установки є маніпулятор У-191, призначений для обертання в горизонтальній або похилій площині виробів при зварюванні.

Маніпулятор являє собою станину з механічним приводом для нахилу траверси з планшайбою на кут необхідний для зварювання ковша грейфера.

Планшайба не має затискних пристроїв, тому дані пристрої були додатково спроектовані.

Технічні характеристики маніпулятора наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики маніпулятора У-191

Найменування параметра	Значення
Розміри виробів, що зварюються:	
зовнішній діаметр, мм	2000...4000
довжина, мм	до 3000
вага, т	до 16
Кут нахилу планшайби, град:	
в одну сторону	до 105
в інший бік	до 15
Момент щодо осі нахилу, Тж	до 20
Момент щодо осі обертання, Тж	до 6,4
Габаритні розміри маніпулятора, мм	3300×3150×2515
Вага, т	20

Складений ковш грейфера кріпиться на маніпуляторі спираючись на спеціальні опори розташовані на планшайбі (рис. 2.2). Притискання ковша здійснюється пневмоциліндром, діаметр якого визначався за спрощеною формулою для руху штовхаючого штока:

$$P = 2,5 D^2, \quad (2.1)$$

де P - зусилля на штоку, кН; D - діаметр пневмоциліндру мм.

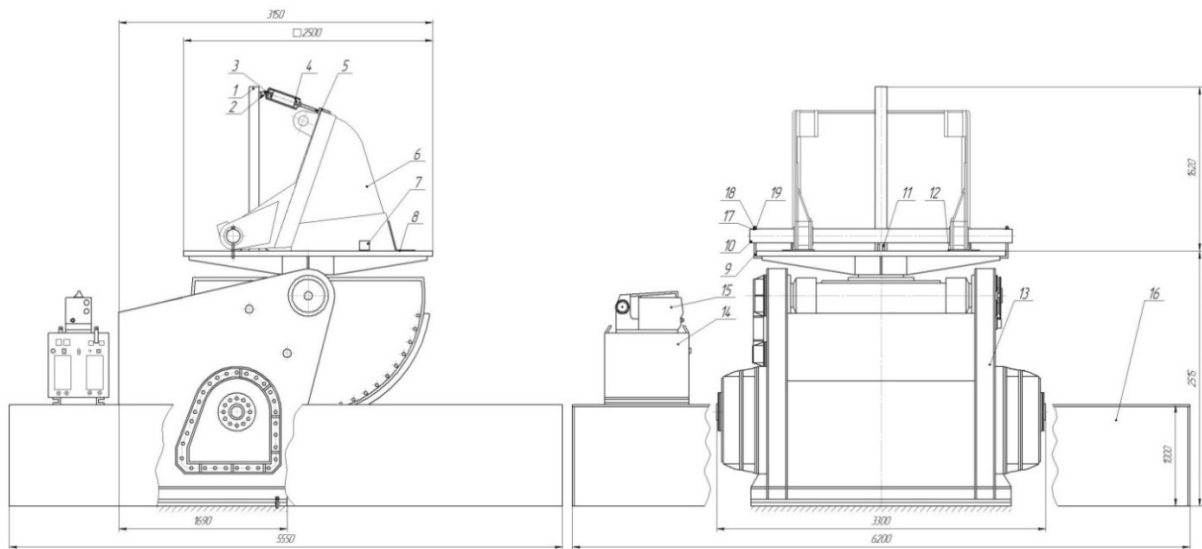


Рис. 2.2. Установка для зварювання ковша грейфера

1 - стійка; 2 - шарнірне кріплення; 3 - цапфа; 4 - пневмоциліндр; 5 - упор;
 6 - деталь; 7, 11 - кутники; 8 - кутник гнутий; 9 - шпилька спеціальна; 10 - вісь;
 12 - технологічний упор; 13 - маніпулятор; 14 - джерело живлення; 15 -
 напівавтомат; 16 - платформа

При прийнятому необхідному мінімальному зусиллі притиснення ковша грейфера рівному 10 кН, розрахунковий діаметр пневмоциліндру склав 63 мм. Для зварювальної установки був прийнятий стандартний пневмоциліндр 0610150A2.

Для реалізації обраної схеми наплавлення ножа ковша грейфера розроблена спеціалізована пристосування (рис. 2.3), що дозволяє наплавляти ніж в зручному положенні. Пристосування складається з поворотного кронштейну, на якому знаходиться стіл призначений для наплавлення ножа. На стіл кріпиться ніж, і обертанням кронштейна зварювальник встановлює його в зручне положення перед собою.

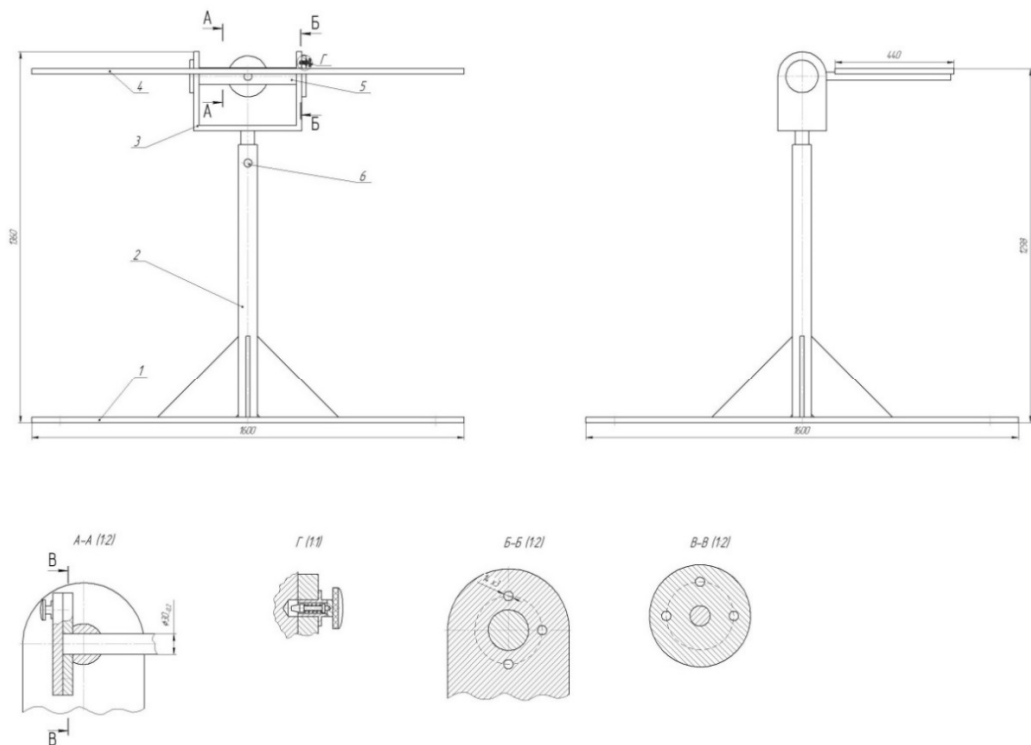


Рис. 2.3. Спеціалізована пристосування для наплавлення ножа ковша грейфера: 1 - підстава; 2 - стійка; 3 - поворотний кронштейн; 4 - стіл; 5 - вісь; 6 - висувний упор

Крім контролю якості заготовки і правильного її позиціонування, обов'язковою умовою точного роботизованого зварювання є калібрування самого робота. У загальному випадку, калібрування роботизованого комплексу містить три етапи:

- калібрування осей, включаючи зовнішні;
- налаштування координат інструменту;
- налаштування координат оточення.

Пункти 1 і 2 є обов'язковими. Калібрування осей, як правило, виконують раз перед першим запуском системи і регулярно перевіряють протягом планового техобслуговування. Калібрування інструменту необхідне для встановлення зв'язку між інструментальною та базовою системами координат робота-маніпулятора, що, в свою чергу, потрібне для коректного руху пальника за заданою траєкторією, а також для точної роботи системи

кореування цих траєкторій. Налаштування координат оточення необхідне, за умов створення віртуальної моделі зварювального комплексу.

2.9. Вплив структури зварного шва (наплавки) створеної роботизованим способом

Відомо багато матеріалів в якості зносостійких, в тому числі електродів і дротів, для наплавлення деталей. Для забезпечення однієї з основних вимог до технологічного процесу відновлення ножів грейфера є збільшення зносостійкості при достатній експлуатаційній надійності можна досягнути за рахунок вибору найбільш прийнятних, з числа стандартних, промислово виготовлюваних матеріалів. Інші ж вимоги (збереження опірності до налипання, забезпечення необхідної структури при наплавленні) можна було б задовольнити в результаті розробки оптимальної технології (використання пристосувань для формування шва і прискореного тепловідведення, оптимізація параметрів режимів наплавлення, застосування певної послідовності накладення валиків і ін.), рис. 2.4.

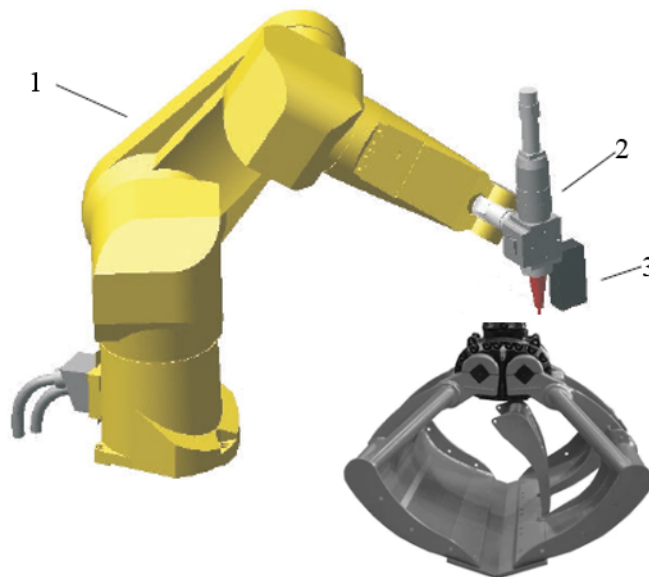


Рис. 2.4. Схема одержання зварного грейфера: 1 – робот; 2 – зварювальна головка; 3 – сенсор аналізу поверхні.

Сплави з різною структурою проявляють себе по-різному в умовах абразивного зношування. Стабільні аустенітні сплави характеризуються

досить високою зносостійкістю в порівнянні з матеріалами, що мають феритну, перлітну і перліто-карбідну структуру [15]. Сплав з перлітною основою в 4 рази слабше чинить опір абразивному зношуванню, ніж з аустенітною. Внаслідок розпаду аустеніту при відпалі чавуну сумарна кількість карбідів в сплаві зростає за рахунок перліту. Однак збільшення загальної кількості карбідів, що взагалі сприятливо впливають на зносостійкість сплавів в абразивному середовищі, не компенсує зниження опору зношуванню при зміні металевої основи сплаву з аустенітної на перлітну. Вивчення мікроструктурної картини взаємодії абразивних тіл з металом показало, що аустенітні сплави, в структуру яких входять карбіди, володіють кращою у порівнянні з феритними сплавами опору руйнуванню при абразивному зношуванні. Але максимальна зносостійкість досягається тільки у випадках, коли в структурі сплавів міститься нестабільний аустеніт, здатний до перетворень під впливом абразиву в процесі зношування.

Зміцнююча фаза відіграє істотну роль в опірності сплавів зношування в абразивному середовищі. Зазвичай підвищення зносостійкості пов'язується з найбільш твердими з усіх структурних складових - карбідами, або боридами. В якості зміцнюючої фази зносостійких сплавів можуть бути і деякі неметалеві включення [16]. Роль металевої матриці і твердої фази в процесі опору сплавів абразивному зношуванню оцінюється різними авторами неоднаково. Так, багато дослідників у своїх роботах показали [15-17], що зносостійкість сплавів в значній мірі залежить від наявності карбідів в структурі, їх кількості, форми і дисперсності. Позитивний вплив фази карбіду в зносостійких сплавах пов'язаний з втратою абразивними частинками ріжучих властивостей при зіткненні з карбідами в процесі зношування. Марки електродних матеріалів, тип наплавленого металу і його властивості приведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Марки електродних матеріалів, тип наплавленого металу і його властивості [15]

Електрод, група	Марка наплавлю -вального	Тип наплавлю - вального	Твердість HRC	Мікротвердість H _{0,5} , ГПА	
				до	після

	матеріалу	металу		зношування	зношування
1	АНО-4	Сталь 10	150НВ	2,5	4,6
2	ЦЛ11	08Х19Н10Г2Б	120НВ	2,6	6,5
3	ОМГ-Н	65Х11Н3	27-29	6,0	10,1
	ПП-АН105	90Г13Н4	16-20	5,0	8,5
	ЦНИИН-4	60Х14Г14Н3Т	16-20	3,2	7,0
4	ОЗН-300М	15Г3С1	21-23	4,8	7,5
	ОЗН-400М	17Г4С1	23-24	5,2	8,0
5	ПП-АН106	14Х13	47-50	5,5	9,0
	ОЗШ-3	37Х9С2	56-58	7,9	9,1
	ЄН-60М	70Х3СМТ	58-60	8,2	9,7
	ОЗШ-7	40Х11С3М	57-61	7,8	10,0
	13КН-ЛИВТ	80Х4С	47-51	7,5	10,0
6	ПП-АН103	200Х12ВФ	49-52	5,9	11,4
	ПП-АН104	200Х12М	48-51	5,9	11,3
	ПП-АН125	200Х15С1ГРТ	50-58	8,7	10,8
7	ЄН-ИТС-01	35ОХ33В	54-56	8,5	10,9
	Т-590	330Х25Г2С2Р	55-58	8,7	10,9
	ЄНУ-2	350Х15Г3Р1	55-57	8,9	12,4
	ПП-АН170	80Х20Р3Т	58-67	9,2	12,4

Відомо, що існують два основних матеріалознавчих шляхи підвищення опірності сталей і сплавів абразивному зношуванню. Перший - збільшення в сплаві кількості зміцнюючої фази до необхідних і можливих для даних умов роботи меж, оптимізація її за типом, морфологією, характером розподілу в матриці. Другий - пошук найкращої, для конкретних умов зношування, металевої матриці. Обидва ці напрямки, при вирішенні завдання підвищення зносостійкості, як правило, розробляються одночасно. При цьому зміна властивостей і зміцнюючої фази, та матриці здійснюється варіюванням

хімічного складу матеріалів, способами і параметрами процесу їх отримання, а також термообробкою.

Можлива також наступна модифікація робочих поверхонь наплавлених кромок шляхом плазмової або хіміко-термічної обробки [15,18, 19].

В літературі наводиться багато відомостей про призначення і властивості наплавлювальних матеріалів. Перелік сучасних матеріалів для наплавлення вітчизняного і зарубіжного виробництва, в тому числі і сертифікованих в Україні, включає сотні марок покритих електродів і порошкових дротів [18, 19, 20]. Серед них великий ряд матеріалів, які рекомендуються для роботи в умовах абразивного зношування, як зносостійкі.

Разом з тим, якщо проводити аналіз за хімічним складом наплавленого металу, і брати до уваги результати досліджень, проведених раніше [17], можна зробити висновок, що за рівнем зносостійкості в умовах роботи ножів грейфера, слід очікувати суттєвої різниці цих матеріалів. Це не дозволяє на основі лише літературних даних вибрати найбільш прийнятні з відомих матеріалів в конкретних умовах зношування.

Крім наплавлювальних електродів, призначених для підвищення зносостійкості, наплавляють метал зварювальними електродами типу АНО-4 і ЦЛ11. Очевидно, що матеріали такого типу не можуть забезпечити необхідну зносостійкість ножів грейфера, але в той же час вони дуже часто застосовуються для відновлення деталей землерийної техніки, оскільки забезпечують достатньо високу експлуатаційну надійність. Тому, порівняльна оцінка їх опірності зношуванню є також цікавою та приведена на рисунку 2.5.

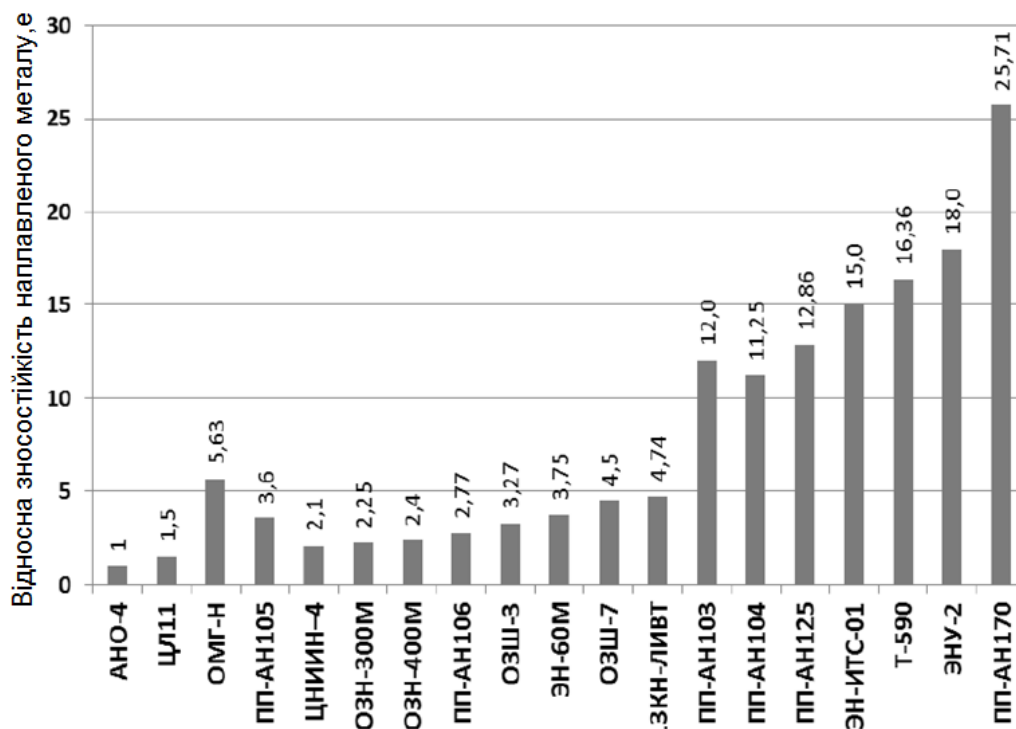


Рисунок 2.5. - Відносна зносостійкість наплавленого металу

Слід зазначити, що рекомендована технологія наплавлення деякими стандартними електродами передбачає попередній, підігрів деталей [20], наплавлення зразків і ножів в даному випадку виконується без підігріву, що було пов'язано з необхідністю збереження опірності робочої поверхні ножів. Зразки наплавляли в 2 ... 3 шари з таким розрахунком, щоб випробуванню на зносостійкість піддавався шар, у формуванні якого метал основи участі не брав.

Структура наплавленого металу обраними електродними матеріалами змінюється в широкому діапазоні. При цьому чіткого розмежування матеріалів на однотипні групи за структурою, вивести практично неможливо, оскільки багато електродів забезпечують наплавлений метал, до складу якого входять кілька структурних складових. Умовно матеріали по типу наплавленого металу і структурі можна розділити на сім груп. Марки електродних матеріалів, тип наплавленого металу і структура наплавленого металу приведена в таблиці 5.2.

Таблиця 2.11. - Марки електродних матеріалів, тип наплавленого металу і структура наплавленого металу [20]

Електрод, група	Марка наплавлювального матеріалу	Тип наплавлювального металу	Структура наплавленого металу
1	АНО-4	сталь 10	Переважно феритна
2	ЦЛ11	08Х19Н10Г2Б	Аустенітна
3	ОМГ-Н	65Х11Н3	Аустенітно-мартенситна
	ПП-АН105	90Г13Н4	Аустенітна
4	ОЗН-400М	17Г4С1	Бейнітна
5	ЭН-60М	70Х3СМТ	Мартенситна
6	ПП-АН106	10Х14Т	Мартенсито-феритна
7	Т-590	330Х25Г2С2Р	Мартенсито-аустенітна основа +40..50% евтектичних і первинних карбідів

Отже, для підвищення зносостійкості матеріалів, що експлуатуються в абразивному середовищі, у структурі сплаву повинна забезпечуватися необхідна кількість твердої фази. У ряді умов зношування оптимальна кількість карбідів в зносостійких сплавах повинна становить 20...30%. При відсутності ударних впливів високий опір абразивного зношування може спостерігатися при збільшенні кількості карбідної фази до 45%. Подальше підвищення вмісту карбідів може призводити до зниження зносостійкості, що пов'язують з недостатньою кількістю матриці, яка повинна утримувати карбіди або бориди від викришування в процесі експлуатації.

У той же час, навіть в високолегованих сплавах з великою кількістю карбідів присутня також і металева матриця, важливими властивостями якої є

її в'язкість, міцність зв'язку з карбідами, твердість. Тому від властивостей основи сплаву в значній мірі залежить зносостійкість матеріалу в цілому.

У той же час, необхідний фазовий і структурний стан сплаву, його будова забезпечується головним чином хімічним складом, тому необхідно провести аналіз впливу легування на зносостійкість матеріалів.

Вплив легуючих елементів на зносостійкість сплавів проявляється в основному двома шляхами: за рахунок утворення карбідів або інтерметалідів і зміни властивостей основи. Велике значення має забезпечення тих властивостей, які пов'язані з опірністю металу абразивному зношуванню. Однак, конкретна роль кожного з найбільш поширених легуючих елементів в поведінці сплавів в умовах абразивного зношування при підвищених температурах достеменно ще не вивчена.

В даний час використовується велика кількість систем легування зносостійких сплавів. Для умов абразивного зношування частіше за інших застосовуються високовуглецеві леговані сплави. З підвищенням вмісту вуглецю зносостійкість металу зростає.

Вплив легуючих елементів на зносостійкість визначається їх взаємодією з вуглецем для утворення карбідів. Найбільш часто і ефективно для цього використовується хром, який до того ж перешкоджає знеміцненню сплавів при нагріванні.

Вміст хрому і вуглецю в сплавах визначає кількість і будова карбідної фази: чим більше відношення Cr/C , тим імовірніша поява і збільшення кількості найбільш зносостійкого карбіду M_{23}C_6 . Однак, підвищення вмісту хрому в сплаві понад 15...20% не призводить до подальшого істотного зниження інтенсивності зношування.

У таблиці 2.12 представлені хімічний склад і властивості металу наплавленого електродними матеріалами, які були випробувані в умовах абразивного зношування.

Таблиця 2.12 - Хімічний склад і твердість наплавленого металу

Марка наплавлюва- льного матеріалу	Вміст елементів %, за масою							Твердість, HRC
	C	Cr	Mn	Si	B	Ti	Інші	
ПП-АН103	1,8	12,2	0,6	0,6			0,8 Mo	40...44
ПП-АН128	0,3	4,1	2,2	0,7			0,3 Mo	42...45
ПП-У25Х17Т	2,6	17,2	0,4				0,5 Ti	54...60
Т-590	3,5	25	2,2	-	1,5	0,5	-	57...65
Т-620	3,2	22	1,2	-	1,1	-	-	55...62
ПП-АН170	0,7	20	0,6	0,6	3,0	0,2	-	58...67
ПП-АН125	2,0	15	1,0	1,5	0,7	0,3	-	50...58
ПП-АН105	0,9	-	12,8	0,5	-	-	4,0 Ni	20...22

Легування аустеніту хромом підвищує температуру його розпаду при нагріванні. Збільшення вмісту хрому в мартенситі супроводжується підвищенням його теплостійкості і зростанням зносостійкості сплаву. Легування хромом фериту високовуглецевих сплавів призводить до незначного його зміцнення і суттєво не впливає на зносостійкість.

Значного підвищення твердості і зносостійкості сплаву можна досягти за рахунок легування його бором.

Механізм впливу бору на структуру і властивості наплавленого металу вельми складний. У роботах різних авторів зустрічаються суперечливі дані про роль бору та його кількості, яку слід вводити для отримання наплавленого металу з певними властивостями. Навіть для сплавів з приблизно однієї системи легування (C-Cr-Fe-B) рекомендовані кількості бору в наплавленому металі коливаються від 0,5 до 6%.

Дослідження високолегованих наплавлювальних сплавів з високим вмістом вуглецю за характером мікроструктури діляться на доевтектоїдні, евтектоїдні і заевтектоїдні. Структура доевтектоїдного наплавлювального

металу складається з зерен твердого розчину і евтектики. Структура заевтектоїдного наплавленого металу являє собою рівномірну суміш карбідів, боридів і твердого розчину. Структура заевтектоїдного наплавленого металу включає надлишкові карбіди і евтектику.

З введенням бору і збільшенням його вмісту мікроструктура наплавленого металу поступово змінюється. Бор збільшує кількість карбіду $M_{23}C_6$ і зменшує кількість карбідів M_6C . Внаслідок цього в карбідах підвищується концентрація хрому. Крім того, бор підвищує твердість.

Наплавлювальні сплави, що мають надлишкові зерна твердого розчину, стають спочатку евтектичними, а потім з'являються і надлишкові карбіди, розташовані в евтектиці.

Мабуть, бор зміщує вліво евтектичну точку сплаву, сприяє випаданню надлишкових карбідів при меншому вмісті вуглецю і карбідоутворюючих елементів.

Велика частина бору в сплавах знаходиться у вигляді окремих фаз боридів і карбоборидів різних металів. Наявність тих чи інших сполук бору в сплавах залежить не тільки від його кількості, а й від наявності в сплаві інших легуючих елементів, в першу чергу карбідоутворюючих, і вуглецю. У зв'язку з тим, що борид і карбобориди є відносно термостабільною фазою, присутність бору, який бере участь в її утворенні, можна вважати необхідним.

Кремній робить істотний вплив на теплостійкість сплавів вже в кількості 0,8...1,0% при температурах нагріву 200...300 °C затримує подальший розпад мартенситу. Введення в сплав кремнію збільшує кількість і термодинамічну стійкість аустеніту при відпуску, внаслідок чого в сталях залишковий аустеніт зберігається до більш високих температур відпуску. Отже, для наплавлення ножів, що експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного зношування, вочевидь, необхідні залізовуглецеві сплави, додатково леговані дешевими і недефіцитними елементами (хром, бор, кремній та ін.), що забезпечують комплекс необхідних властивостей.

В даний час в промисловості використовується велика кількість зносостійких сплавів різних систем легування в тому числі і леговані вище розглянутими елементами. Для обґрунтованого вибору матеріалу проведено порівняльний аналіз властивостей металу наплавленого промислово виготовлюваними матеріалами.

Відносна зносостійкість розглянутих матеріалів у порівнянні з основним, не наплавленим металом ножа (сталь ВСтЗсп4) наведена на рисунку 2.6.

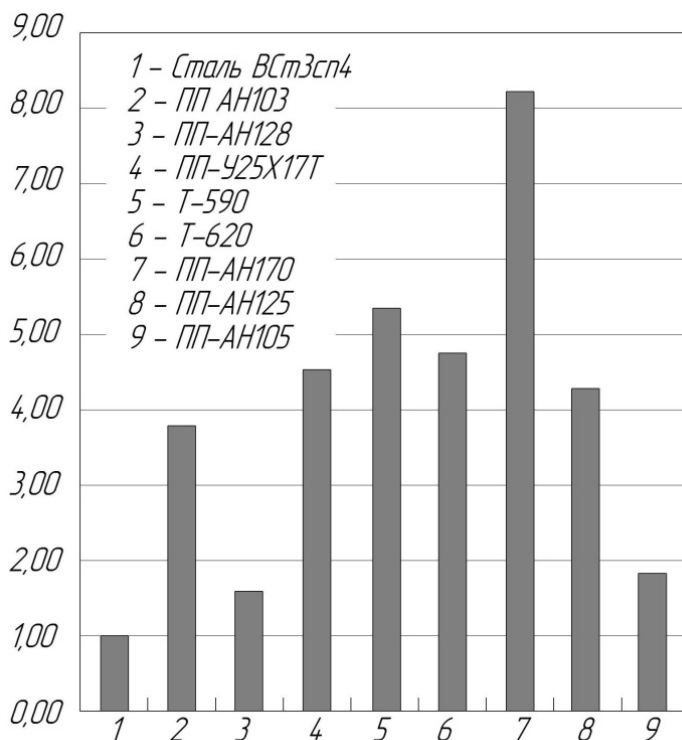


Рис. 2.6. - Відносна зносостійкість наплавлювальних матеріалів

З цих даних добре видно, що зносостійкість металу зі структурою стабільного аустеніту (ПП-АН105) є вищою від сталі ВСтЗсп4. Це пов'язано з тим, що в даних умовах зношування стабільний аустеніт наклепується дуже слабо. Зносостійкість інших матеріалів є тим вищою, чим більше в структурі є зміцнюючої фази. При цьому за одного рівня кількості зміцнюючої фази, зносостійкість тим вища, чим більша кількість бору. Найбільшу зносостійкість має метал типу 80Х20РЗТ наплавлений дротом ПП-АН170, який і вибираємо для зміцнення ножів наплавленням.

В даний час нашою промисловістю використовується більше 20 різних систем легування наплавлювальних сплавів. Найбільш поширені системи, де головним легуючим елементом є хром.

З літературних джерел встановлено, що найбільшою інтенсивністю зношуванню тобто найменшою опірністю до цього процесу, володіє метал, наплавлений електродами типу АНО-4. Низький вміст вуглецю і легуючих елементів обумовлює феритну структуру наплавлення з низькою вихідною мікротвердістю - 2,5 ГПа. В процесі зношування, в результаті механічного наклепу, твердість поверхні тертя незначно збільшується (до 4,6 ГПа). Однак відношення $H_a/H_{\text{птт}}$ зберігається високим (близько 3), що обумовлює значну частку мікрорізання в процесі зношування і, в результаті цього, низьку зносостійкість.

Більш високу опірність зношуванню завдяки високому рівню легуванню і підвищеному вмісту вуглецю володіє метал, наплавлений електродом ЦЛ-11. В даному випадку аустеніт через високу стабільність, обумовлену низьким рівнем температури початку мартенситного перетворення M_s , не здатний до перетворень в мартенсит в процесі зношування. Однак завдяки твердорозчинному зміцненню за рахунок легування і механічного наклепу, мікротвердість поверхні тертя все ж значно вища (до 6,5 ГПа), ніж металу наплавленого електродами типу АНО-4, що і забезпечує в 1,5 рази вищу зносостійкість матеріалів цього типу в порівнянні з феритним.

Матеріали четвертої групи зі структурою, що поєднує низьковуглецевий мартенсит і бейніт, з тієї ж причини перевищують по зносостійкості метал наплавлений електродами ЦЛ-11 в півтора рази, і в два по відношенню до феритних не легованих матеріалів.

Помітні відмінності в зносостійкості спостерігаються між матеріалами третьої групи, що містять 100% високо вуглецевого аустеніту. Якщо опірність зношуванню металу, наплавленого електродами ЦНІІН-4 знаходиться на рівні матеріалів третьої групи, то метал, наплавлений електродами ОМГ-Н, перевищує його в 2,5 рази. Сплав, отриманий наплавленням дротом ПП-

АН105, за цим показником знаходиться на проміжному рівні. Це, очевидно, пов'язано з тим, що метал наплавлений ЦНДІ-4 і ПП-АН105 надмірно стабільний по відношенню до $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення.

Більш високий рівень зносостійкості металу, наплавленого електродами ОМГ-Н, мабуть, обумовлений двома обставинами. По-перше, аустеніт в даному випадку відносно не стабільний, на поверхні тертя в процесі зношування утворюється 15 - 20% мартенситу. Це помітно менше оптимальної кількості (40 - 50%) [16], але досить для того, щоб сприяти приросту мікротвердості до 10,1 ГПа, а зносостійкості 1,5 - 2,5 рази в порівнянні з матеріалами з повністю стабільним аустенітом. По-друге, в цьому металі аустеніт є переважно хромистим, а не марганцевим.

За даними роботи [15], позитивний вплив марганцю на здатність до зміцнення сталей з залишковим метастабільним аустенітом нижча, ніж хрому. Це пов'язано з тим, що міцність мартенситу залежить не тільки від вмісту в ньому вуглецю, але також і від величини енергії зв'язку між дислокаціями і атомами вуглецю в аустеніті. Чим більша енергія зв'язку між дислокаціями і атомами домішок впровадження (вуглецю, азоту та ін.), тим вищий рівень закріплення дислокацій в мартенситі.

При цьому вмісті вуглецю, вища ефективна міцність розглянутої фази. Марганець знижує енергію зв'язку дислокацій з атомами вуглецю α -фази [15] на відміну від хрому, підвищує цей показник [16]. Тому хромисті або хромомарганцеві метастабільні аустенітні сталі при однаковій кількості вуглецю мають більш високу зносостійкість, ніж марганцеві.

Мікротвердість поверхні тертя деяких матеріалів п'ятої групи з переважно мартенситною структурою (ОЗШ-7, 13КН-ЛІВТ) досягає того ж рівня (10 ГПа), що і металу 65Х11НЗ наплавленого електродами ОМГ-Н, проте зносостійкість при цьому в 1,3 нижча. Це пов'язано з тим, що, по-перше, приріст мікротвердості в мартенситних матеріалах досягається тільки за рахунок механічного наклепу, тому механізм релаксації напружень та інші позитивні явища, які супроводжують процес утворення мартенситу

деформації, не працюють. По-друге, в зміцненому шарі, в даному випадку, відсутня пластична складова - аустеніт, тому робота, яка витрачається на руйнування мікрооб'ємів поверхні менша, ніж в металі із залишковим аустенітом і деякою кількістю мартенситу.

Опірність зношування шару, наплавленого електродними матеріалами шостої групи, в два рази вища, ніж найбільш зносостійкого металу з четвертої групи (65X11H3). В даному випадку позитивну роль відіграють три фактори. По-перше, частина аустеніту металевої матриці в процесі зношування також перетворюється в мартенсит. По-друге, вихідний вміст вуглецю в аустеніті помітно вища, ніж в наплавленні 65X11H3. Це впливає з нескладного аналізу діаграми системи Fe-C-Cr при температурах 1000 - 1150 °C.

Раніше було показано [17, 19], що саме вуглець в найбільшій мірі позитивно впливає на мікротвердість поверхні тертя (в даному випадку вона досягає 11,4 ГПа) і, відповідно, на зносостійкість. По-третє, структура даних матеріалів включає 10 - 25% карбідів CrFe_7C_3 , твердість яких становить 14 - 15 ГПа.

Слід зазначити, що опірність зношуванню матеріалів цього ж хімічного складу (сталі ледебуритного класу типу X12), але в кованому або прокатному стані, істотно вища, ніж в наплавленому вигляді. Очевидно, що в наплавленому металі негативно впливає неоднорідність структури, як в макрооб'ємах наплавленого шару, так і на мікрорівні.

Істотне підвищення зносостійкості відбувається при наплавленні матеріалами заевтектичного складу. В даному випадку структура наплавленого металу включає велику кількість зміцнюючих фаз (до 50 - 60%). Мікротвердість деяких з її складових, зокрема карбоборидів, досягає 20 ГПа. На відміну від матеріалів попередньої групи, в яких суттєву дольову участь в опірності зношуванню вносять і металева матриця та карбіди, в цих сплавах визначальний внесок належить зміцнюючим фазам, особливо в металі 80X20P3T, а роль металевої матриці - надійно утримувати частинки твердих фаз від викришування при взаємодії з абразивом.

В цілому, в межах всієї низки розглянутих матеріалів, якщо навіть не брати до уваги два типи зварювальних електродів, зносостійкість відрізняється на порядок. І все ж якщо врахувати, що низьковуглецеві матеріали широко застосовуються в практиці для наплавлення ножів грейфера завдяки експлуатаційній надійності наплавленого металу, то відмінності в зносостійкості по відношенню до них становлять до 25 разів.

Таким чином, на основі літературних даних можна припустити, що відновлення або зміцнення ножів ковша грейфера з точки зору впливу на їх зносостійкість, доцільно проводити порошковим дротом ПП-АН170.

Оптимальна зносостійкість наплавленого металу (табл. 2.13) забезпечується кількістю і формою карбідів в евтектиці, їх твердістю, а також твердістю основної матриці.

Таблиця 2.13. - Хімічний склад наплавленого металу, %

Метал	C	Cr	B	Ti	S	Mn
Вимоги ТУ	0,5-0,9	18-23	2,7-3,6	0,1-0,5	<1,0	<1,0
Після наплавлення	0,79	19,05	3,2	0,3	0,6	0,9

Мікроструктура наплавленого металу при напавленні як в один, так і в два шари, ідентична і складається з карбідних виділень, евтектики і α -твердого розчину (рис. 2.7).



Рисунок 2.7. – Мікроструктура наплавленого металу, $\times 100$

В поверхневій зоні наплавленого шару утворюється, голчастий мартенсит δ -ферит, тростит і карбідна фаза (рис. 2.8). Для зони наплавлення характерна структурна неоднорідність в залежності від місця розміщення досліджуваної ділянки по відношенню до межі сплавлення. В результаті самовідпуску в областях, розташованих поблизу межі сплавлення, проявляються ферито-цементитні структури різної дисперсності.

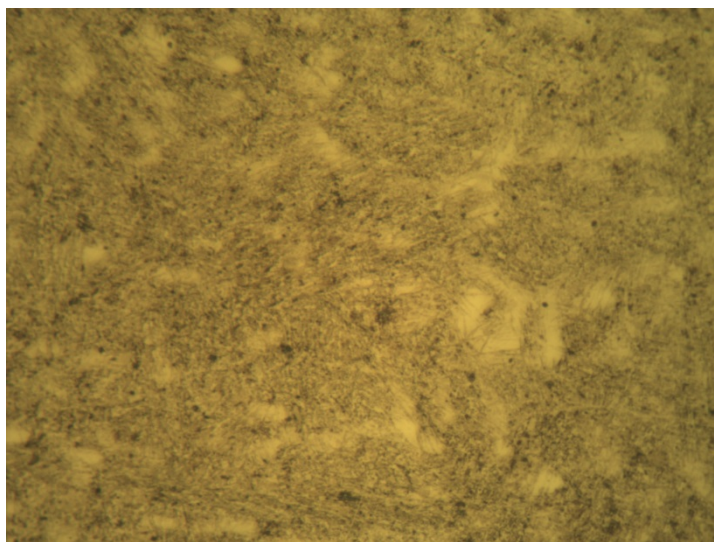


Рисунок 2.8 – Мікроструктура поверхневої зони наплавленого металу, $\times 400$

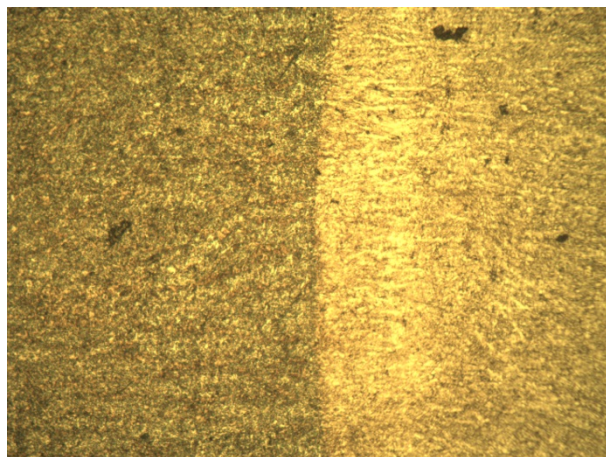
У металі наплавлення присутні карбіди, можлива наявність карбонітридів і інтерметалідів. Ця структура значно відрізняється від структури наплавлення електродами Т-590 складом, формою, розмірами і кількістю карбідної фази, а також матрицею (у наплавлень електродом Т-590 матриця ледебуритна).

Твердість та мікротвердість наплавленого металу приведена в таблиці 2.14.

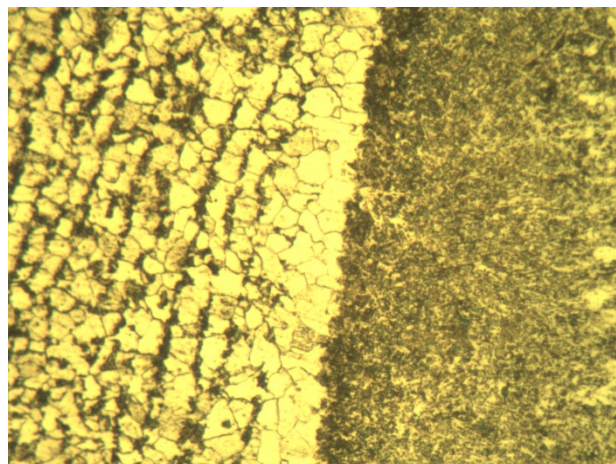
Таблиця 2.14. - Твердість та мікротвердість наплавленого металу

Марка наплавлювального матеріалу	Тип наплавлювального матеріалу	Твердість HRC	Мікротвердість $H_{0,5}$, ГПА	
			До зношування	Після зношування
ПП-АН170	80X20P3T	62	9,2	12,5

Мікроструктура в зоні термічного впливу (ЗТВ) по лінії сплавлення складається з середньоголчастого мартенситу (рис. 2.9). У структурі добре видно дендрити, спрямовані перпендикулярно до лінії сплавлення, що вказує на наявність градієнту температури в процесі охолодження деталі в зазначеному напрямку.



×100



×400

Рисунок 2.9. – Границя сплавлення після наплавлення порошковим дротом ПП-АН170

За межами лінії сплавлення мікроструктура є сорбіт з дрібними виділеннями фериту. Структура зони термічного впливу тростит+мартенсит. Глибина і твердість цієї зони залежить від параметрів термічного циклу. При оптимальному термічному циклі глибина ЗТВ становить близько 6 мм.

Мартенсит, що утворюється в ЗТВ, збільшує крихкість наплавлених деталей, знижуючи їх міцність. Усунути цю крихкість можна за рахунок високого відпуску 500-550 °С і витримки 2 год, при якому відбувається розпад мартенситу, отримання дисперсних карбідів, більш однорідної структури шару, а також усунення грубих дендритів межі сплавлення і утворення більш пластичної фази.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Засоби тензо- і динамометрії

Початок випробувань зварного з'єднання одержаного за роботизованого зварювання потребує конфігурації випробувальної установки. Для цього, насамперед слід потрібно перевірити зв'язок між ПК та апаратною частиною випробувальної установки. Це потребу введення команди «Перейти в автономний режим, щоб підключитися до апаратного забезпечення». Буде надіслано командне тестове повідомлення, щоб управляюча програма котролер виконали обмін даними.

За умови використання кількома особами MTL32 k_lkom, профілі користувачів розмежовують в меню «Користувач», але програма налаштування профілів можлива лише за наявності прав адміністратора. Для підвищення ефективності контролю параметрів експерименту, під час випробувань було включено низку панелей управління, зокрема:



Рис. 3.1. Панель налаштувань «System»

Зазвичай, панель System слугує для попереднього відлагодження апаратних параметрів для взаємозв'язку програмних засобів та контролера.



Рис. 3.2. Панель налаштувань «Actuator»

Налаштування панелі Actuator забезпечило зміну параметрів налаштування датчиків. Найважливішим полем налаштування даної панелі є частота опитування певного датчика.



Рис. 3.3. Панель налаштувань «Servo»

Ця панель забезпечила зміну налаштувань інтегральних і диференціальних параметрів за умов зміни датчиків.



Рис. 3.4. Панель «Calibration»

За умови під'єднання датчика (для експериментальних досліджень використано тензодатчик, який було під'єднано за мостовою схемою) насамперед виконували його тарування/калібрування. Для цього слід було підібрати наступні коефіцієнти:

- h/offs, - зміщення діапазону вимірювань;
- Gain 1 - коефіцієнт підсилення датчика;
- Gain 2 - коефіцієнт підсилення датчика;
- Range - діапазон вимірювань датчика;

Програмні коефіцієнти:

- s/w gain - коефіцієнт підсилення;
- s/w off - зміщення початку відліку.

Давачі калібрували у наступній послідовності:

- автоматично, шляхом натискання кнопки ;
- шляхом підбору коефіцієнтів Gain2, Gain1 та h/offs, тобто послідовно;
- шляхом встановлення діапазону вимірювань Range, за умов, якщо значення автокалібрувальних коефіцієнтів не задовольняли попередньо задані.

За наявності похибок, проводили корегування, зміною значень коефіцієнтів підсилення s/w gain та s/w off:



Рис. 3.5 Панель «Limits»

Дана панель програми слугувала для обмеження значення максимального навантаження протягом експерименту. Забезпечувало безпечну роботу установки та оптимальні режими роботи двигуна та насосної станції. За умови досягнення граничних значень навантаження передбачено кілька типових дій:

- Stop (припинення навантаження);
- Hold (утримання навантаження);
- Trip (розвантаження).

Примітка Arm Limits забезпечує активацію зазначених програмних обмежень.



Рис. 3.6 Панель «Console»

На даній панелі задавали попередньо обґрунтовані параметри експерименту. Можливими варіантами вибору були вид навантажування:

- циклічне (синусоїдальне, статичне, імпульсне); поточний канал випробувань (навантаження, переміщення, екстензометр); Поле Mean відповідає за значення якого необхідно досягнути. Amplitude – за амплітуду. Показник Hz вказує час виходу на задане значення Mean. В полі Cycles вказується кількість циклів деформування.

- статичне.

За умови задання всіх параметрів експерименту, встановлення допустимих меж калібрування розпочинали процес випробувань. Для цього

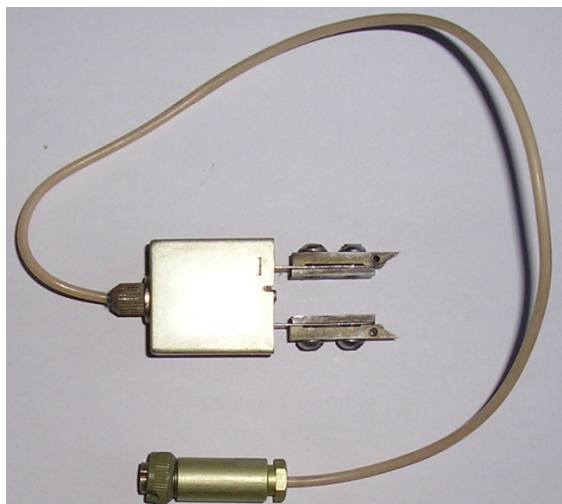
включали режим високого тиску  **à**  і почати навантажування  Припинення деформування виконували натисненням кнопки  із

подальшим вимкненням високого тиску 

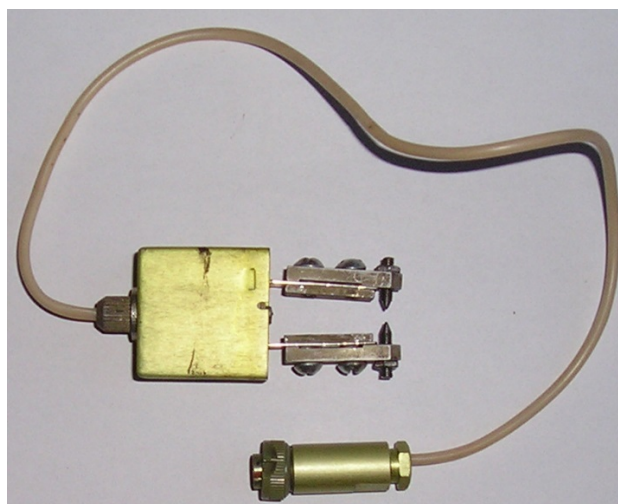
Одним із найскладніших завдань при розробленні методик випробування матеріалів з локалізованими дефектами (а зварний шов одержаний роботизованим методом є таким дефектом) є створення надійного способу вимірювання деформації зразка та напружень на певній базі вимірювань. У практиці випробувань металевих матеріалів широко застосовуються екстензометри, на пружних ніжках яких наклеєно тензорезистори, які перетворюють деформацію цих пружних елементів у електричний сигнал.

Для проведення досліджень було використано високоточні тензорезистори "DST-5" і тензорезистори "IMDT-20" та "IMDT-8", які спроектовано та виготовлено на ДП «Антонов» (м. Київ).

Приклад екстензометра, яким вимірювали повздовжні та поперечні деформації зразків в зоні локалізації деформацій (зварного шва) показано на рисунку 3.7.



а



б

Рис. 3.7. Екстензометри: загальний вигляд:
а - для вимірювання повздовжніх деформацій;
б - для вимірювання поперечних деформацій

Помітно, що конструкція екстензометра забезпечує швидку та надійну фіксацію на поверхнях як плоских так і циліндричних зразків. Багаторічний досвід, а також літературні дані підтверджують надійність екстензометрів і тензорезисторів та їх високу точність вимірювання.

Стандартна база вимірювань використаних екстензометрів для поздовжньої деформації - 16 мм, а база вимірювання поперечної деформації - 8 мм. Поздовжню та поперечну деформації вимірювали з точністю ± 1 мкм.

Тензодинамометр у зібраному вигляді подано на рис. 3.8.

Протоколи повірки тензодинамометра і екстензометрів показали їх високі експлуатаційні якості. Так, для тензодинамометра «ДСТ-5», з межами вимірювання сили 0...5 т.с., були зафіксовані наступні складові похибки:

- систематична складова похибки – 0,04679;
- гістерезис – 0,07799;



Рис. 3.9. Загальний вигляд тензодинамометра:

- тензодинамометр;
- захоплювач рухомої траверси зі сферичною опорою;
- кабель;
- зразок;
- захоплювач нерухомої траверси зі сферичною опорою
- середньоквадратичне відхилення становить – 0,004566;
- нелінійність становить – 0,05793;

- відхилення від номінального значення – відсутнє
- приналежність до категорії точності 1,00.

Враховуючи реальні розміри динамометра (див. рис. 2.2) виконано моделювання частот роботи динамометра формулою:

$$f = \frac{\rho}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}.$$

$$f = \frac{\rho}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{\rho}{2l^2} \sqrt{\frac{Ebh^3}{12r bh}} = \frac{\rho}{2l^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12r}} = \frac{\rho}{2 \times 0,08^2} \sqrt{\frac{2 \times 10^{11} \times 0,03^2}{12 \times 4,5 \times 10^3}} = 14170,3$$

Гц.

Обчислення доводять, що період власної частоти динамометра становить:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{14170,3} = 7,06 \times 10^{-5} \text{ с} = 70,6 \text{ мкс.}$$

Для спроектованого екстензометра, що має межі вимірювань деформацій – 0...8 мм виявлено наступні складові похибок:

- систематична – 0,36678;
- гістерезис – 0,09949;
- середньоквадратичне відхилення – 0,18692;
- нелінійність – 0,40823;
- відхилення від номінального значення – 0,00000.

Для екстензометра «ИМДТ-8» з межами вимірювань деформацій – 0...8 мм були зафіксовані наступні складові похибки:

- систематична складова похибки – 0,15761;
- гістерезис – 0,07390;
- середньоквадратичне відхилення – 0,04327;
- нелінійність – 0,17872;
- відхилення від номінального значення – 0,00000.

Розроблені засоби тензо- і динамометрії тарували перед початком кожного циклу випробувань за допомогою спеціального пристосувань фірми «INSTRON». Крім того, було використано еталонний динамометр 3-го розряду типу ДОС-5.

Тарувальні графіки екстензометрів і тензодинамометра зображено на рис. 3.10.

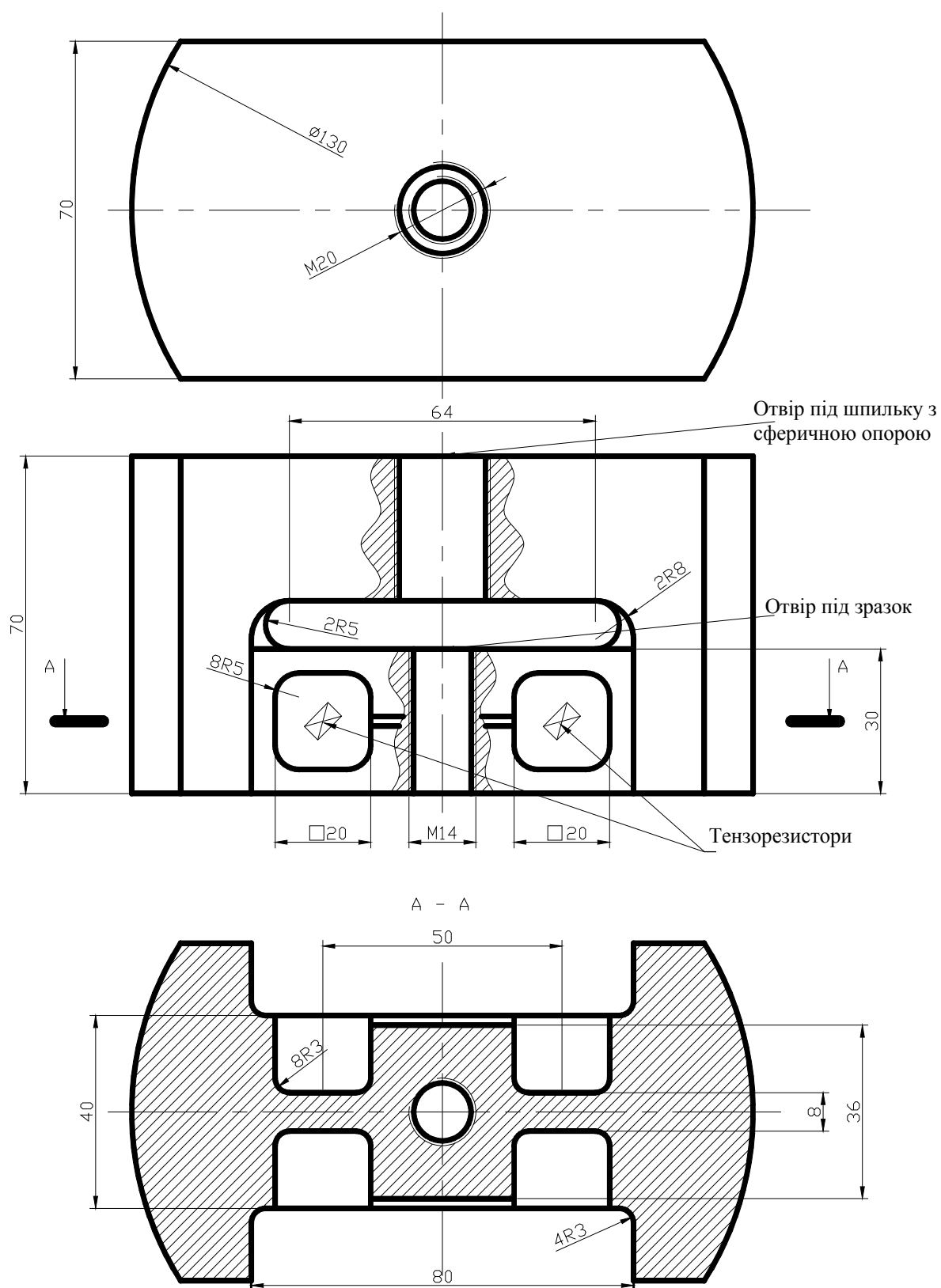


Рис. 3.10. Креслення динамометра:

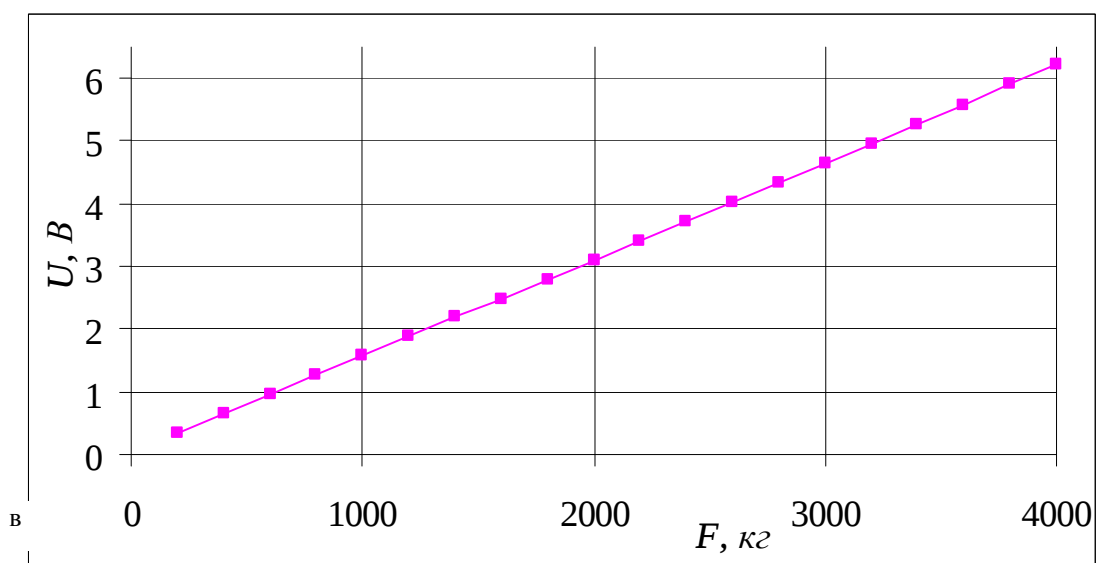
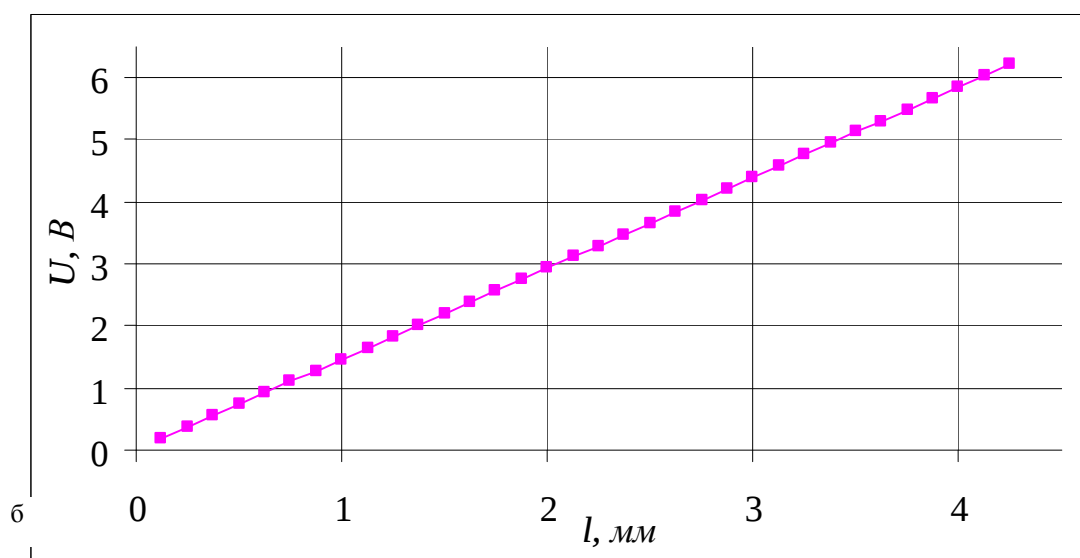
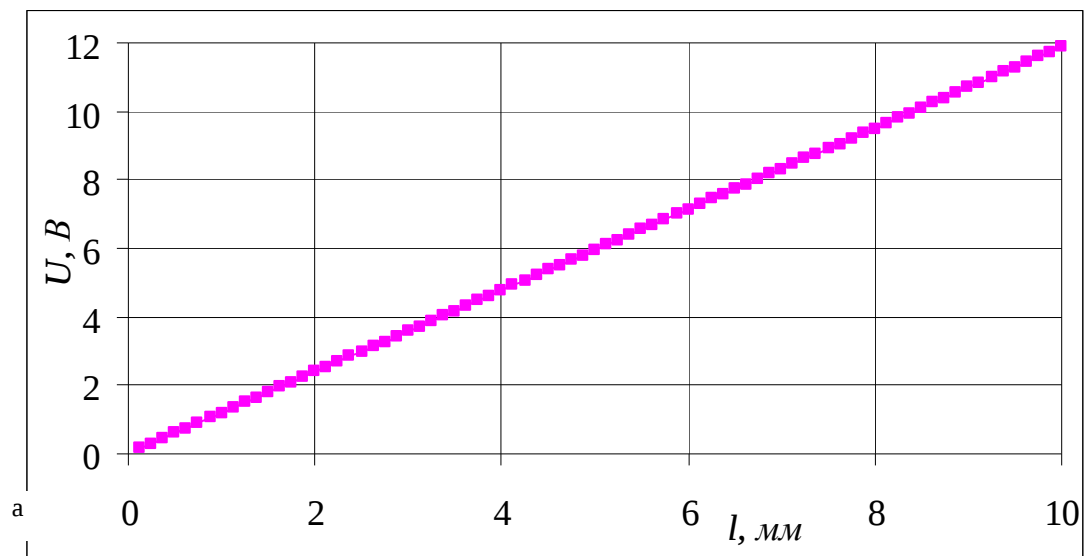


Рис. 3.11. Тарувальні графіки:

а- датчик поздовжніх деформацій; б – датчик поперечних деформацій;
в – датчик сили

Після проведення експерименту наявна можливість перегляду графіків процесу деформування в зручній формі (рис. 3.12).

Розроблена вимірювальна система для проведення і обробки результатів випробувань дозволяє в реальному масштабі часу при виведенні на монітор комп'ютера будувати графік навантаження (Р) – видовження (Δl) з частотою вимірювань до 18 вим/сек. При цьому наперед призначається усереднення результатів випробувань в межах 1...50 отриманих експериментальних точок.

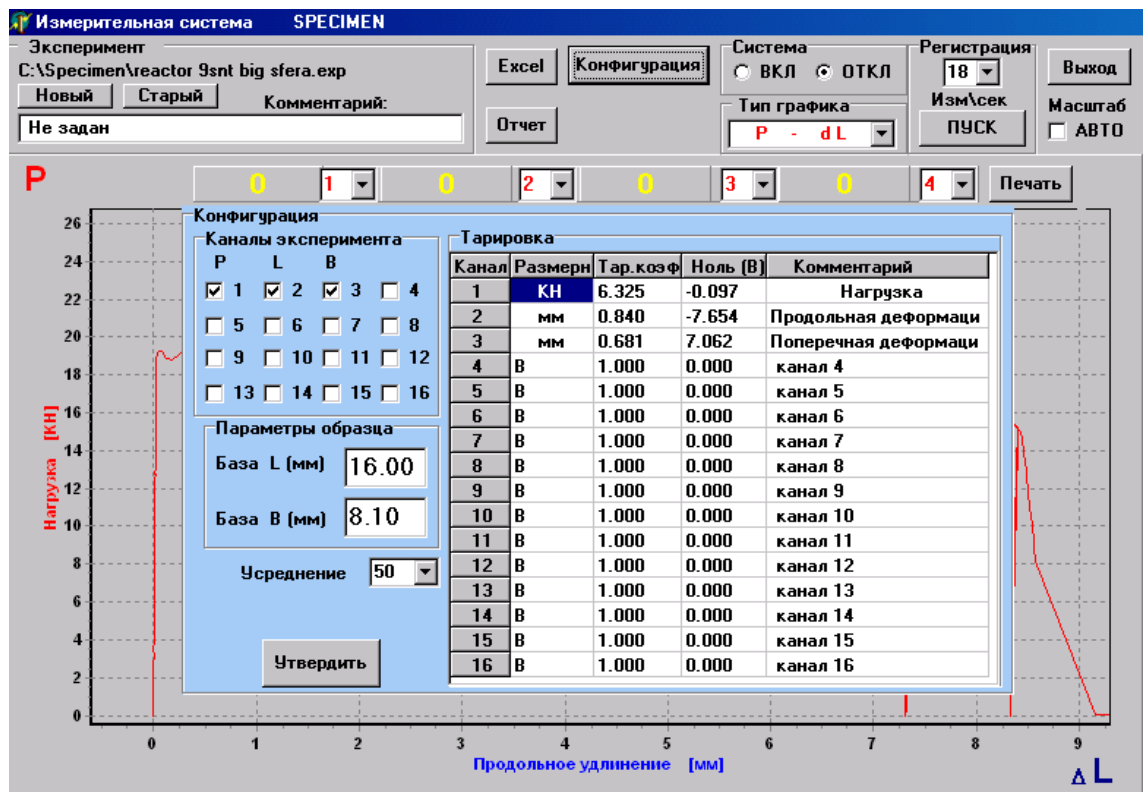


Рис. 3.13. Меню конфігурації вибору системи вимірювання деформацій зразків

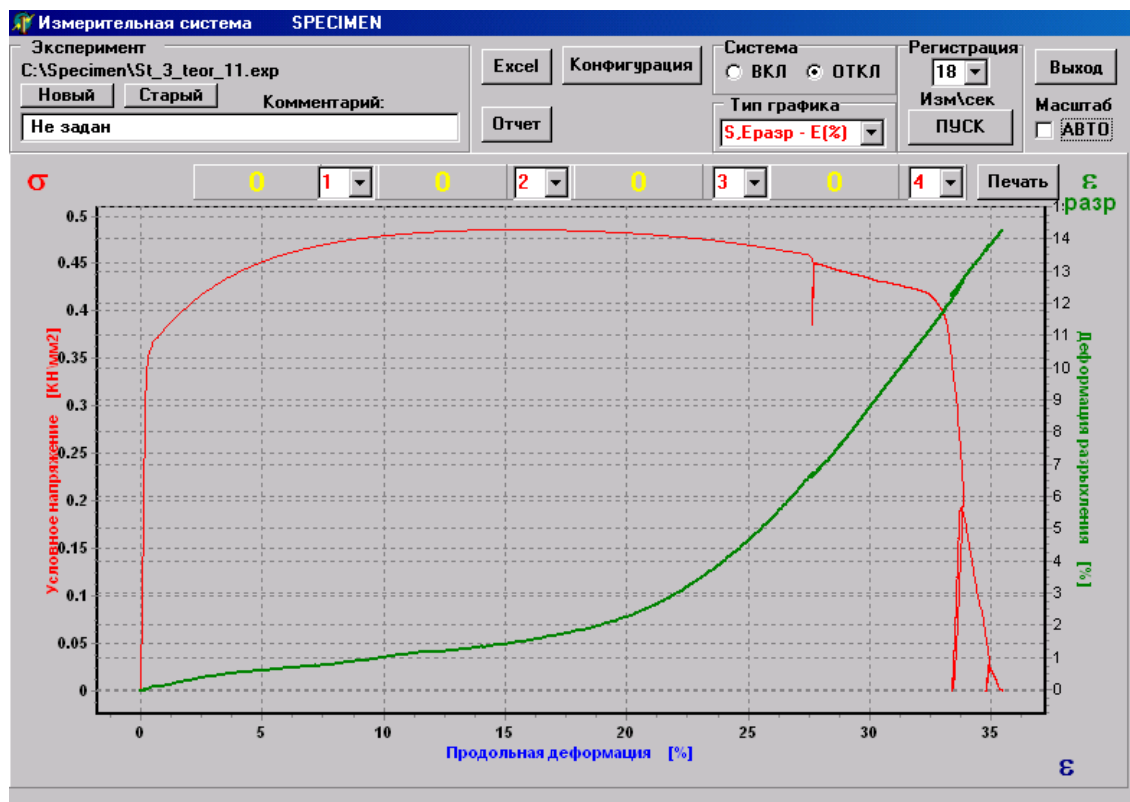
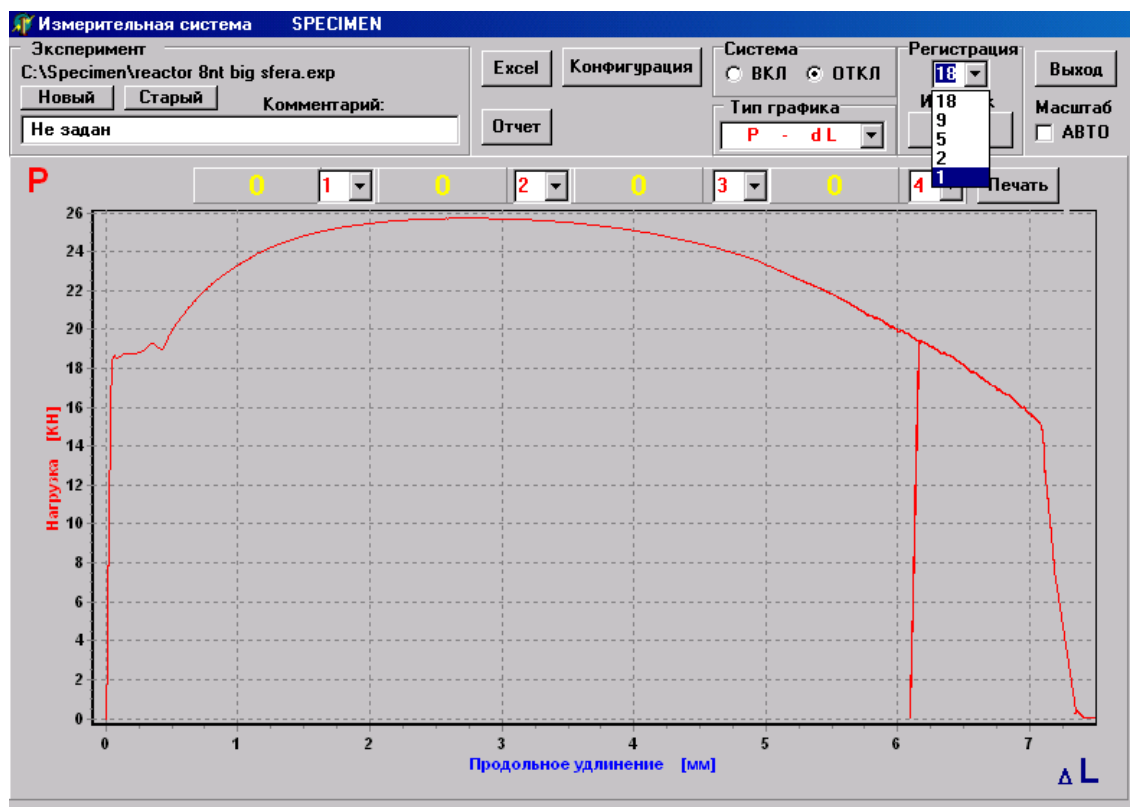


Рис. 3.14. Меню побудови графічних залежностей після завершення експерименту



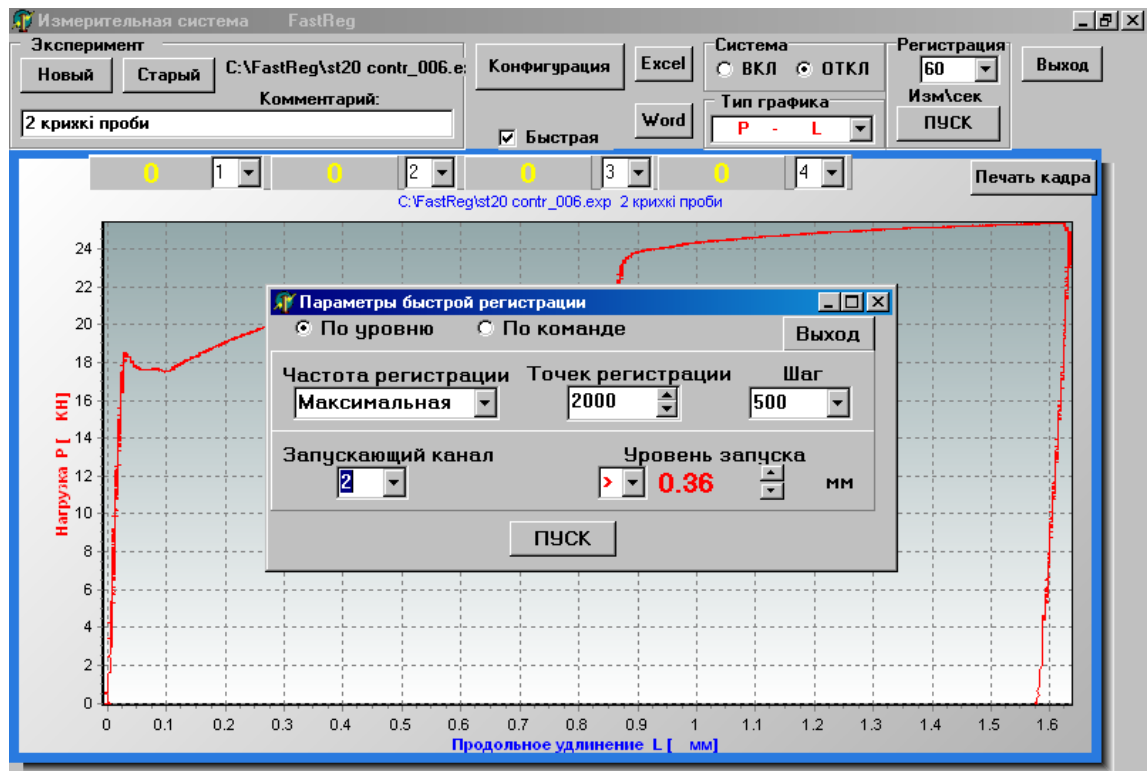


Рис. 3.15. Меню швидкості реєстрування сигналів

Подальше доведення вимірювальної системи дозволило істотно підвищити частоту вимірювань в процесі випробувань. Додатково до основної системи розроблена система швидкий старт «FastReg. Механічні властивості сталі за результатами випробувань: $\sigma_b = 350$ МПа, $\sigma_{0.2} = 174$ МПа, $\delta = 28$ %.

Виявлено, що при виготовленні зварних конструкцій ковшів грейферів піддатливість елементів зумовлює нерівномірний розподіл напружень в зварних швах, для зменшення обсягу наплавленого металу їх доцільно проектувати і виконувати зі змінною площею поперечного перерізу, наприклад, змінним катетом вздовж довжини шва. Існуючий рівень роботизації зварювання дозволяє реалізувати цей підхід на практиці.

3.2. Автоматизований спосіб дослідження деформівної здатності зварного шва одержаного роботизованим способом

Досліджували призматичні темплети сталі ВСтЗсп4 без зварного шва та зі зварним швом зі структурою стабільного аустеніту (ПП-АН105) шириною

40мм і товщиною 10 мм, висота темплету становила 60 мм. До темплету приварювали гайки в які укручували шпильки випробувальної установки. Випробування проводили одновісного розтягу на випробувальній гідравлічній машині ZD 100pu. Для вимірювання повздовжньої деформації зразків використовували метод тензометрії, проводили цифрове фотографування процесу навантаження тіла зразків зі зварними швами, рис. 3.16.

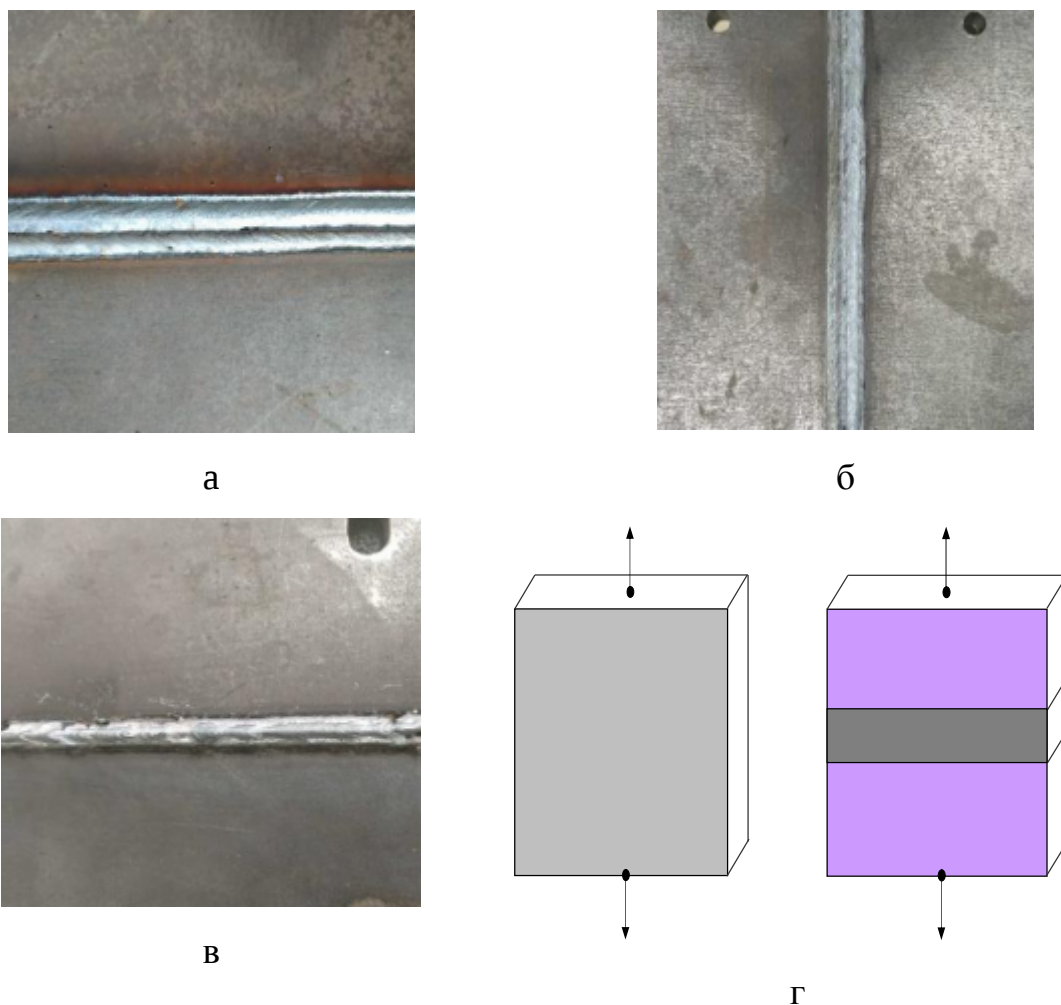


Рис. 3.16. Зварні шви та схема навантаження зразків сталі ВСт3сп4 в початковому стані (1) і з зварним з'єднанням за наявності дефектів (2)

При цьому використовували схему статичного розтягу, при якій напружено-деформований стан матеріалу темплету є подібним до стану металу грейфера за експлуатаційного деформування. Питомі деформації в зоні зварного шва одержаного роботизований зварюванням визначали шляхом

аналізу полів векторів переміщень (ПВП). В процесі випробувань записували діаграму зусилля (P) - поздовжня деформація зразка (f).

Деформаційні процеси на поверхні темплету досліджували на підставі ПВП і подальшому розрахунку компонент деформації [9], за методикою поданою у вигляді схеми на рис. 3.17.

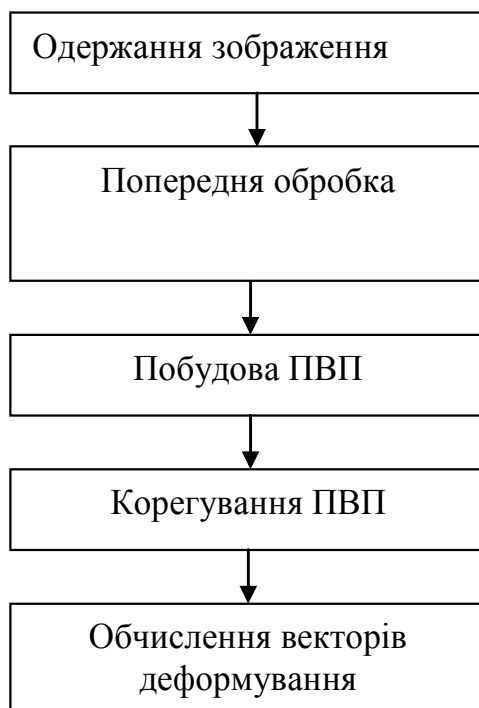


Рис. 3.18. Алгоритм розрахунку полів векторів переміщень (ПВП) зразка із зоною зварного шва

У основі побудови ПВП є алгоритм визначення зсувів окремих ділянок зображення, який ґрунтується на встановленні відповідності між ділянками двох зображень шляхом обчислення кореляційної функції (КФ) і пошуку екстремуму цієї функції [10,11]. У якості показника відповідності використовували емпіричний коефіцієнт кореляції (ZNCC - zero-mean normalized cross-correlation):

$$k_{ZNCC} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{1,i,j} - \bar{i}_1)(I_{2,i,j} - \bar{i}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{1,i,j} - \bar{i}_1)^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{2,i,j} - \bar{i}_2)^2}},$$

де I_1, I_2 – яскравості елементів (пікселів) порівнюваних ділянок аналізованих зображень, $\bar{i}_1, \bar{i}_2$ – середньоарифметичні значення елементів аналізованих ділянок, n – розмір сторони ділянки, для якого обчислено коефіцієнт кореляції. Максимум кореляційної функції визначає зсув ділянки поверхні.

Запишемо коефіцієнт кореляції у вигляді:

$$k_{ZNCC} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j} I_{2,i,j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j}^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j}^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j}}}}.$$

Використовуючи швидке перетворення Фур'є (ШПФ), для обчислення згортки

двох сигналів $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{1,i,j} I_{2,i,j}$ можна значно зменшити час обчислення КФ.

Додаткового зниження обчислювальних витрат досягали внаслідок

використання алгоритму циклічної буферизації при обчисленні сум $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j}$

и $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{2,i,j}^2$.

Після визначення переміщення ділянки з піксельною точністю, необхідне подальше уточнення величини переміщення до частинок пікселя. Субпіксельна точність досягається бікубічною (двомірною) інтерполяцією вузлів з найбільшими значеннями коефіцієнтів кореляції [10]. Після інтерполяції знаходили максимум функції бікубічного сплайну, координати

якого визначають величину і напрям переміщення. Пошук екстремуму сплайну проводили ітеративно шляхом обчислення градієнтів.

Розбиваючи зображення на рівні ділянки розміром $n \times n$ з кроком між ними, позначеним як $step$, отримували набір векторів, які утворював поле векторів переміщень. Крок побудови векторів ($step$) і розмір ділянки обчислювали за значенням коефіцієнту кореляції (n), вони пов'язані наступною нерівністю:

$$2 \times step^3 \leq n.$$

Для «видалення» областей зображення не зайнятих зразком, проводили виділення області розрахунку. Розрахунок векторів і відповідно компонент деформації проводили тільки у виділеній області. Виділення області на зображенні виконано у програмі аналізу деформацій і здійснюється оператором.

При обробці серії зображень співствляли кадри, зняті у окремі періоди часу t_i і t_{i+1} (поточний і наступний кадри) з нормуванням значень, що набувають, компонент деформації за певний період між кадрами. Шляхом чисельного диференціювання полів переміщень, розраховували компоненти деформації, потім обчислювали середньоарифметичне значення інтенсивності деформації зрушення і нормувалося на якийсь час між кадрами. Вираз для обчислення інтенсивності деформації зсуву γ_i [11,12]

$$g_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + e_{xx}^2 + e_{yy}^2 + \frac{3}{2} e_{xy}^2},$$

Опис кривою деформування. В результаті випробувань встановлено, що форма діаграми деформування матеріалу з зварними швами істотно відрізняється від діаграми «непошкодженого матеріалу», рис. 3.19(a). Цим

терміном позначено сталь ВСтЗсп4 яка не містить сітки тріщин термовтоми. З метою порівняння цих графіків напруження подано у приведених координатах (σ/σ_{max}).

Крива деформування пошкодженого матеріалу, рис. 3.19 має складний профіль і характеризується трьома основними точками біфуркації, на ділянці 0-1 спостерігається зростання деформації зразка, викликане пристосуванням структури матеріалу за умов прикладання зовнішнього навантаження, аж до певного максимального значення.

Ділянка 1-2 відповідає максимальному розкриттю дефектів і старту макротріщини. Наступна ділянка 2-3 відповідає за «структурну перебудову» системи зумовлену притупленням макродефекту. При цьому деформування матеріалу стабілізується, «збільшується» тримка здатність матеріалу, що призводить до необхідності прикладання додаткової сили для його деформування. Деформація локалізується біля ряду концентраторів, інтенсивність деформації різко зростає. І остання стадія (після точки 3) відповідає за поділ (долом) зразка.

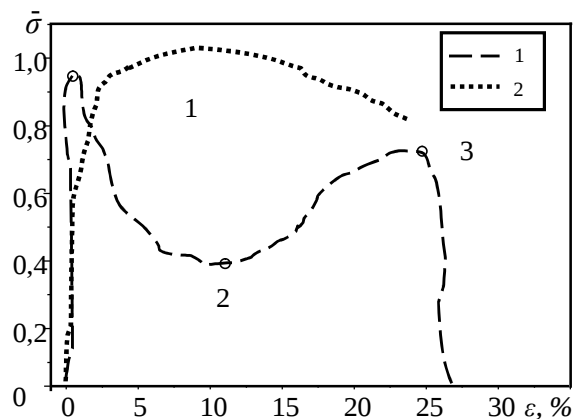


Рис. 3.19. Діаграма деформування сталі ВСтЗсп4 -а в вихідному (2) і розтрісканому станах деформації - б

Із збільшенням зусилля деформування і розвитку, пружних деформацій відбувається збільшення площі дефектів. Таку закономірність спостерігали до старту макротріщини, який спричинив до швидкої релаксації напружень

відповідно часткового закриття тріщин. Отже, на кривій помітно зниження загальної площі тріщин, водночас збільшується макротріщина. Крива набуває нелінійного характеру, що відповідає процесу перерозподілу напружень у окремій області матеріалу. Внаслідок релаксації напружень і розвитку процесів текучості у вершині макродефекту макротріщина притупляється. Ймовірно, це пов'язано з перерозподілом напружень і деформацій в менш пошкодженій частині зразка. Надалі загальна площа дефектів, а також площа мікродефекта зростають, досягаючи свого максимуму до моменту руйнування матеріалу.

З діаграм деформування матеріалу з зоною термічного впливу відзначили довжину лінійної ділянки $P - \Delta l$ (рис. 3.20). Отже зразок з зварним швом деформувався так, якби у ньому не було дефектів, а вплив розпорошених пошкоджень проявився лише збільшенням піддатливості зразка. Перехід до деформування на вищому структурно-ієрархічному рівні супроводжувався активацією і одночасним розкриттям вже декількох тріщин, а подальше поширення деформації – розкриттям групи тріщин, що спричиняє порушення суцільності (руйнування) матеріалу [22].

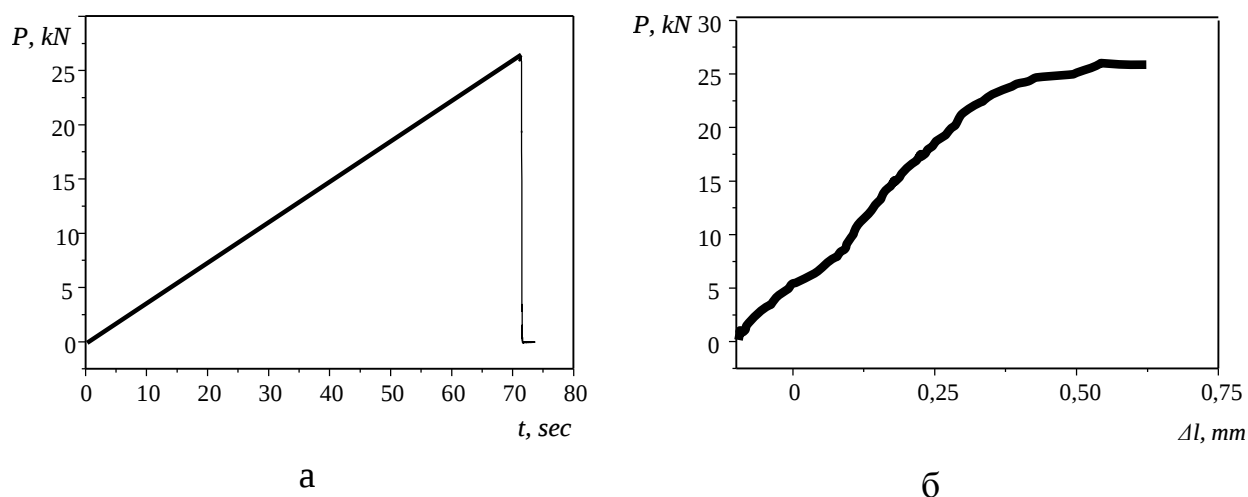
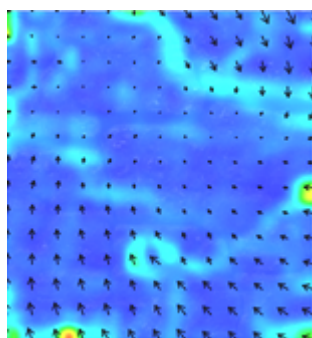


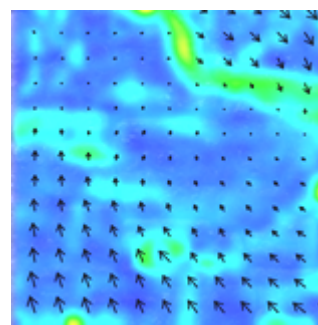
Рис. 3.20. Криві навантажування $P - t$ (а) та деформування $P - \Delta l$ (б) зразка із сіткою тріщин термічної втоми: 1, 2, 3 – точки проведення оптично-цифрового контролю.

З аналізу цифрових зображень поверхні зразка на різних етапах навантажування узагальнили особливості його деформування. Відзначили, що за наявності в матеріалі мережі різних за розмірами тріщиноподібних дефектів його деформування не відрізнялося від властивого квазісуцільному середовищу. Це могли спричинити два зварні шви, які були макроконцентраторами і тому обмежили здатність матеріалу деформуватися. Отже відокремлення ділянки матеріалу із тріщиноподібними дефектами зварними швами від бездефектної його частини рівномірніше розподіляє деформацію матеріалу, розташованого між ними [6]. Особливо цікавою є колективна одночасна активація розкриття берегів декількох тріщин. Вона пов'язана переважно з релаксаційними процесами внаслідок ротаційних зсувів прилеглих до них ділянок неушкодженого матеріалу. Зсувні деформації зумовлені неоднорідністю матеріалу, що ще раз підтверджує правомірність аналізу матеріалу з такими дефектами як розломно-блокового середовища [3].

Вплив дефектності на деформування матеріалу. Обчислили поля переміщень і деформацій аналізованого зразка (рис. 3.21). На зображенні, що відповідає точці 1 діаграми навантаження $P - \Delta l$ (рис. 3.20б), з'явилися перші мезоконцентратори напружень через створення в них передумов для колективного зміщення фрагментів аналізованої поверхні (рис. 3.21а).



а



б

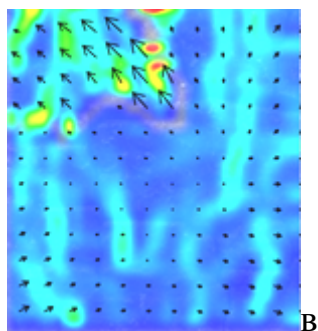
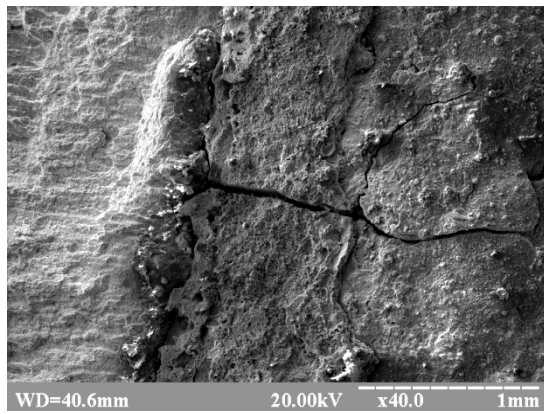
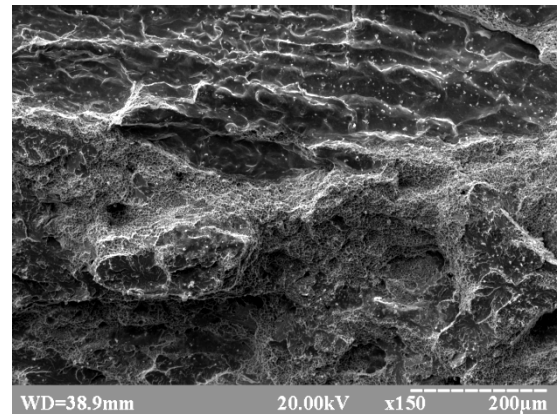


Рис. 3.21. Зміна поля деформацій на поверхні зразка за його навантаження до точок, 1 (а), 2 (б) і 3 (в), в яких здійснювали оптично-цифровий контроль (згідно рис. 3.4 б).

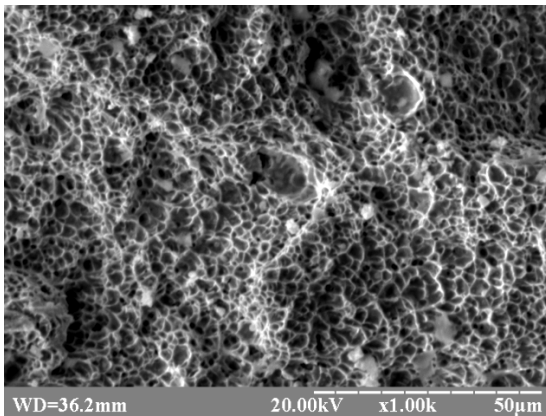
Деформація матеріалу з множинними мікрodefектами залежить від геометричного та структурно-ієрархічного чинників. Тому, навіть за навантажування в межах пружної ділянки діаграми $P - \Delta l$ (точка 1 на рис. 3.20б) на поверхні зразка виявили ділянки пружного деформування і мікропластичного течіння (рис. 3.21а). Це зумовлено локалізацією деформації в елементах дефектної структури на поверхні зразка з тріщинами термічної втоми [23]. Структура мікрodefектів спричиняє нерівномірну деформацію і перебудову матеріалу (рис. 3.21б). Активація однієї з тріщин зумовлює релаксацію напружень в прилеглих ділянках [8]. Зростання інтенсивності зсуву (рис. 3.21б), зумовлене зміщенням окремих блоків нерозтріснутого матеріалу, оточеного тріщинами, та відповідає точці 2 на діаграмі $P - \Delta l$ (рис. 3.20б). Це дає змогу реалізувати запропонований в цій роботі алгоритм виявлення деформаційних сингулярностей на поверхні. Втрата зсувної стійкості матеріалу в околі перетину кількох концентраторів напружень супроводжується локалізацією деформаційного процесу [24-26] (рис. 3.21в). Зсувні процеси, що виникли поблизу таких концентраторів, поширюються на прилеглі ділянки. Деформаційні поля у матеріалі при цьому перерозподіляються. Завершальним етапом стає деформування на макрорівні [27, 28], коли матеріал досягає граничного стану (рис. 3.22в).



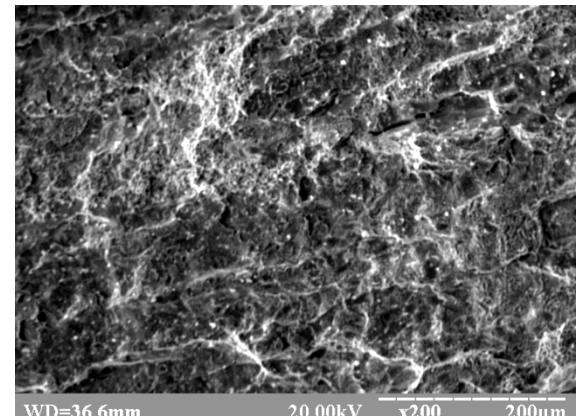
а



б



в



г

Рис. 3.22. Мікрофрактограми в зоні «зварний шов-основний метал» (а, б), та для основного металу (в) і зварного шва (г).

Відзначили, що лінійне і кутове зміщення блокових фрагментів під час деформування зразка з мікроефектами зварного шва та зміна параметрів алгоритму розпізнавання тріщин спричиняють виникнення завад у функціях зміни гістограм [7]. Це певною мірою ускладнює аналіз гістограм та визначення ділянок локалізації руйнування.

Встановлено, що при зварюванні коротких швів, що займають частину перерізу конструкції, є особливості поперечної усадки. На відміну від розподілу поперечної усадки при зварюванні довгих швів, усадження коротких швів розподілене нерівномірно вздовж довжини шва, що є основною причиною вигину зварюваного елемента під час одновісного деформування. Встановлено основні закономірності просторового положення стику, що

зварюється що забезпечує можливість застосування неадаптивних роботів шляхом коригування траєкторії руху пальника під час їх програмування.

Дані, отримані з використанням тензометрії, обчислення орієнтації дефектів і розрахунку полів деформацій дають змогу одночасно реєструвати активацію деформацій в матеріалі на різних структурних рівнях. Тензометрія реєструє деформації на макрорівні, або відгук зразка в цілому на силове навантаження.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Актуальність охорони праці

Розміщення і планування комплексу для роботизованого зварювання вимагає до себе підвищеної уваги, зокрема:

- слід передбачити спеціальні буферні зони для виробів після зварювання;
- вибираючи місце для розташування зварювального комплексу, важливо пам'ятати, що стандартні вимоги до території включають в себе якісну бетонну підлогу, товщина якої не повинна бути меншою 300 мм, з перепадами, що не перевищують 5 мм на 1000 мм.
- на території розташування роботизованого зварювального комплексу бажано спроектувати підводку сухого повітря, а при проектуванні електроживлення необхідно передбачити використання стабілізаторів.

Одним з головних завдань при розробці технічних проектів є вирішення питань по охороні праці та техніці безпеки, розробка конкретних заходів, які виключають травматизм і усувають вплив на організм робітників небезпечних і шкідливих факторів.

Згідно Закону України “Про охорону праці” [29], що був прийнятий 14 жовтня 1992 року, на будь – якому об’єкті, де працюють люди, повинні бути створені здорові і безпечні умови праці. Будівлі, обладнання, технологічні процеси не повинні створювати загрози працюючим, негативно впливати на їхній стан здоров’я та самопочуття. Для забезпечення цих вимог заходи по охороні праці повинні здійснюватися на базі нової технології і наукової організації виробництва [29]. Особливо важливими факторами полегшення і оздоровлення умов праці, підвищення його продуктивності є комплексна механізація і автоматизація робіт і технологічних процесів, застосування засобів обчислювальної техніки в наукових дослідженнях і на виробництві.

Охорона праці робітників і службовців є одним із головних обов'язків адміністрації будь-якого підприємства. Покращення умов праці, розробка і здійснення заходів по зниженню виробничого травматизму і професійної захворюваності, крім великого соціального ефекту, дають економічні результати, які виражаються у збільшенні періоду професійної активності працюючих, зростанні продуктивності праці, зменшенні втрат пов'язаних з травматизмом, професійною і виробничою захворюваністю, зменшення текучості кадрів і зменшення затрат на пільги і компенсації. Рациональний комплекс заходів, направлених на покращення умов праці, може забезпечити приріст продуктивності праці на 15 – 20 % і більше [30].

4.2. Правила техніки безпеки при роботі в лабораторіях

У лабораторному приміщенні мають місце шкідливі і небезпечні чинники першою і четвертої групи.

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі чинники.

- 1) Підвищений рівень шуму, відповідно до ГОСТу 12.1.003-83 [30], джерелами якого є друкуючі пристрої і установки кондиціонування. Вплив шуму на організм людини призводить до зниження гостроти зору, зорової адаптації, порушує сприйняття зорової інформації та знижує продуктивності праці на 30-60%.
- 2) Підвищена температура довкілля, виникає й унаслідок одночасної роботи обчислювальної техніки і освітлювальних установок, які значну частину споживаної електроенергії перетворюють в теплову. Вплив цього чинника на організм людини призводить до зайвим затратам енергії нормалізацію теплового балансу, наслідком є відчуття дискомфорту й відповідне зниження працездатності.
- 3) Підвищене значення напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може статися через людину. Це може призвести до електроудару, який впливає

на організм людини біологічно (роздратування і порушення нервових і м'язових тканин) і механічно (розриви шкірного покриву, вивихи).

4) Недостатня освітленість робочої зони, причиною якої може бути широкий діапазон зміни і мінливість природного світла, неправильний вибір штучного освітлення і їхнього розташування. Цей чинник викликає стомлення очей, зниження працездатності, можуть призвести до патологічному погіршення зору людини.

5) Відсутність чи недолік природного світла, причиною його можуть стати такі джерела: площа і орієнтація вікон, ступінь чистоти скла вікон, забарвлення стін приміщення. Природне освітлення має важливе значення для працюючих. З іншого боку, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з його оточенням.

6) Підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелом якого є електронно-променеві трубки моніторів ЕОМ. Вплив цього чинника на організм людини призводить до захворювань нервової системи, раку.

7) Психофізіологічні шкідливі чинники. Джерелами фізіопсихологічного чинника є нерациональна організація робочого місця, напруженість праці.

Усі ці фактори сприяють зміни в людини функціонального стану центральної нервової системи [30], нервово-м'язового апарату рук (під час роботи з клавіатурою введення інформації):

- розумова перенапруга;
- перенапруження зорових аналізаторів;
- монотонність праці;
- емоційні перевантаження;
- статичні перевантаження.

4.3. Санітарно-гігієнічні вимоги у лабораторному приміщенні

Виробнича санітарія – система організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів і засобів [32], які запобігають дії на робітників виробничих факторів.

Виробнича санітарія включає оздоровлення повітряного середовища і нормалізацію параметрів мікроклімату в робочій зоні, захист працюючих від шуму, вібрації, ультразвуку і електромагнітних випромінювань; забезпечення потрібних нормативів природнього і штучного освітлення; підтримання у відповідності з санітарними вимогами території підприємства, основних виробничих і допоміжних приміщень [32]. Основними санітарно-технічними системами забезпечення потрібних умов праці у даному випадку є: система вентиляції і кондиціонування повітря, система опалення, освітлення виробничих приміщень. В розливочному цеху встановлена система приточно-втяжної вентиляції. Опалення цеху парове. Подача тепла здійснюється від загальнозаводської котельні.

Вимоги до освітлення

Основні вимоги охорони праці до освітленості такі. Освітленість повинна бути достатньою і відповідати характеру зорових робіт. Освітленість повинна бути рівномірною без різких тіней. Між об'єктом розрізнення і фоном, на якому розглядається об'єкт, повинна бути деяка контрастність [32]. Джерело світла не повинно осліпляти працюючого. Рівень освітленості робочих поверхонь повинен бути постійним в часі і мати оптимальний спектральний склад світла. Електроосвітлювальні пристрої повинні бути безпечними при експлуатації.

$$P = P_{\text{нм}} > S_n / n = 15 > 900 / 150 = 90 \text{ Вт}.$$

Протипожежні заходи

Будівлі та їх частини у яких розміщені ЕОМ, повинні мати не нижче II ступінь вогнестійкості. Пожежі помешкань з ЕОМ представляють собою

особливо небезпечні ситуації, так як пов'язані з великими матеріальними втратами. Пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин [31].

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні роботи програмістів і операторів ЕОМ:

- а) недотримання правил експлуатації електронно-обчислювальної техніки;
- б) недотримання правил пожежної безпеки;
- в) перегрів розеток та частин обладнання перехідного опору у місцях сполук;
- р) несправність загального чи місцевого освітлення робочих місць.

Горючими компонентами у приміщенні є:

- а) віконні рами, двері, робочі столи;
- б) книжки, довідники-роздруківки програм, інші робочі матеріали;
- в) розчинники, мастила та інші пожежонебезпечні речовини, які періодично йдуть на проведення ремонтних і профілактичних робіт на встановленому у приміщенні устаткуванні.

Джерелами виникнення пожежі є:

- а) елементи електропроводки, що потенційно можуть перегріватись внаслідок несправності устаткування чи порушення правил експлуатації устаткування;
- б) устаткування, встановлене у приміщенні.

Щоб запобігти пожежі необхідно проводити ряд технічних і організаційних заходів у відповідність до ГОСТ 12.1.004 – 91 і ГОСТ 12.4.009 – 83.

У системі запобігання пожежі передбачити:

Встановлюють 1 вогнегасник на $40 - 50 \text{ м}^2$ [31], але не менше двох у приміщенні. У приміщенні де, проводяться роботи, пов'язані зі створенням автоматизованої системи збирання та опрацювання інформації необхідно встановити 2 вогнегасника ЗУ – 5;

- а) ящик з піском обсягом $0,5 \text{ м}^3$;
- б) систему з автоматичною пожежною сигналізацією з датчиками, що реагують на поява диму ФНП – 1 з розрахунку 1 на 10 м^2 ;
- в) телефон, встановлений у легкодоступному місці.

Організаційно-технічні заходи щодо пожежної безпеки містять у собі такі положення:

- а) включення питань пожежної профілактики в усі інструктажі технічної безпеки;
- б) заборона паління в неналежному місці;
- в) призначення відповідального за пожежну безпеку;
- г) контроль ізоляції і реальний стан електропроводки з періодичністю 1 раз на рік.

ВИСНОВКИ

Робототехнічне зварювання розглянуто як технологічний процес маніпулятора, що забезпечує рух зварювального інструменту по складній траєкторії. Використання робототехніки забезпечило найпродуктивніші режими зварювання за оптимального формування зварних швів, підвищувати густину струму, збільшити реальну глибину проплавлення, забезпечити додаткове зростання продуктивності і найголовніше зменшення зварювальних деформацій. Такий підхід до проблеми роботизації дозволив успішно вирішити проблеми зварювання ковшів грейферів.

Запропоновано режими зварювання та пристосіблення забезпечують ефективний аналіз ефективності різних варіантів конструктивних і технологічних рішень при роботизації виробництва зварних конструкцій із застосуванням неадаптивних роботів і шляхи забезпечення принципової можливості роботизації зварювального виробництва., зокрема:

- заміну низькопродуктивних способів зварювання (РДС і механізованого зварювання в CO_2 дротом діаметром 1,2 мм) на високопродуктивний спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом ПП-АНЗ за допомогою роботизованого зварювання.

- заміна електродів Т-590, що застосовуються для зміцнення ножів ковша грейфера на більш зносостійкий і високопродуктивний при наплавленні порошковий дріт ПП-АН170.

Виявлено основні стадії зміни такої інформативної характеристики, як активність зміщення блокових фрагментів поверхневої структури розтріскування матеріалу спричиненої термічним циклом зварювання, під час статичного деформування сталі ВСтЗсп4 шляхом сумісного використання тензометричного та оптично-цифрового фіксування зміни стану матеріалу.

Встановлено, що під час активного навантажування зразків з розломно-блоковою структурою мікротріщин на поверхні окремі дефекти зливаються.

Напрям і інтенсивність цього процесу визначають процеси попередньої коалесценції, а міра активності розломів – інтенсивністю зсувів у матеріалу в межах нерозтріснутих ділянок, оточених тріщинами.

Показали, що дані тензометрії та оптично-цифрового аналізу є взаємодоповнюючими. Під час деформування зразка з розломно-блоковою структурою тріщин на поверхні виявили особливості, пов'язані з релаксаційними процесами на мезоструктурному рівні, закономірності самоорганізації такої структури та місця локалізації деформацій, від яких відбувається макроруйнування.

Встановлено, що при абразивному зношуванні в умовах роботи ковша грейфера зносостійкість стандартних наплавлювальних матеріалів тим вища, чим більше в структурі зміцнюючої фази. Найбільшою зносостійкістю володіє метал наплавлений дротом ПП-АН170 типу 80Х20РЗТ.

Аналіз конструкції ножів ковша грейфера, схеми їх експлуатації, характер і умови зношування робочих кромek показав, що окрім опірності зношуванню, робочі кромки повинні характеризуватися рівнем пластичності, що виключає сколювання її фрагментів в процесі експлуатації.

Виявлено, що після наплавлення твердість наплавленого металу складає 62 HRC, а мікротвердість 9,2 ГПа. Мікроструктура в зоні термічного впливу тростит+мартенсит, а за межами лінії сплавлення структура сорбіт з дрібними виділеннями фериту.

Мартенсит, що утворюється в ЗТВ, збільшує крихкість наплавлених деталей, усунути цю крихкість можна за рахунок відпуску, при якому відбувається розпад мартенситу і перетворення його в більш пластичну фазу.

Запропоновано заходи з охорони праці та техніки безпеки лабораторій для випробування зварних швів одержаних за робототехнічного зварювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Башапсин Ю.А, Ющенко А.С. Промышленные роботы в технологии современного машиностроительного производства. М.: НИИмаш, 1984. - 392 с.
2. Системы оцувствления и адаптивныы промышленныы роботы. /Под. ред. Е.П. Попова. М.: Машиностроение, 1985. - 256 с.
3. Сварочныы роботы / В. Геттерт и др., под ред. Г., Гердена. Пер. с нем. М.: Машиностроение. 1988. -288 с.
4. Потапыевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом А.Г. Потапыевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
5. Потапыевский А.Г. Плавление и перенос металла при сварке в CO₂ тонкой проволокой // Автоматическая сварка. – 1958. - № 7. – С. 37-42.
6. Потапыевский А.Г. Влияние составляющих режима сварки тонкой проволокой в среде углекислого газа на интенсивность металлургических реакций // Автоматическая сварка. – 1958. - № 2. – С. 53-58.
7. Потапыевский А.Г. Разбрызгивание при сварке в CO₂ проволокой Св-08Г2С / А.Г. Потапыевский, В.Я. Лаврищев // Автоматическая сварка. – 1972. - № 8. – С. 39-42.
8. Помазка Г.У. Применение сварки в смесях газов в ФРГ в 1979 г. // Автоматическая сварка. – 1980. - № 6. – С. 44-48.
9. Справочник сварщика. - М.: Машиностроение, 1974. – 520 с.
10. Воропай Н.М. Новое в технологии сварки в защитных газах. Учеб. Пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по технологии и оборудованию сварочного производства / Н.М. Воропай. – М.: Машиностроение, 1981. – 47 с.
11. Контроль качества сварки. / Под. ред. В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
12. Гитлевич А.Д. Техническое нормирование процессов в сварочных цехах / А.Д. Гитлевич. - М.: Машиностроение, 1972. – 136 с.

13. Красовский А.И. Основы проектирования сварочных цехов / А.И. Красовский. – М.: Машиностроение, 1965. – 392 с.
14. Щербина Я.Я. Основы противопожарной защиты / Я.Я. Щербина, И.Я. Щербина. – К.: Вища школа, 1985. – 255 с.
15. Еремин, Е. Н. Износостойкая наплавка ножей горячей резки металлопроката [Текст] / Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов, Д. Г. Покровский [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 4. – С. 17–19.
16. Рябцев, И. А. Наплавка деталей машин и механизмов [Текст] / И. А. Рябцев. – Киев: Екотехнология, 2004. – 160 с.
17. Юзвенко, Ю. А. Порошковые проволоки для наплавки [Текст] / Ю. А. Юзвенко // Автоматическая сварка. – 1972. – № 5. – С. 67–71.
18. Еремин, Е. Н. Влияние боридных соединений на структуру и свойства мартенситно-стареющей штамповой стали, наплавленной порошковой проволокой [Текст] / Е. Н. Еремин, А. С. Лосев // Сварка и диагностика. – 2013. – № 3. – С. 32–35.
19. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Патона Б.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 789 с.
20. Фрумин И.И. Современные типы наплавочных материалов и их классификация. // Наплавленный металл – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. Наукова думка, 1977. С. 3 – 17.
21. Безопасность производственных процессов // Под ред. Беляева. – М.: Машиностроение, 1984. – 462 с.
22. Закон України “Про охорону праці” за станом на 2 червня 2011 р./ Верховна Рада України.- Офіц.вид.- К.: Парлам. Вид.-18 с. (Серія “Закони України”), 2011.
23. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении [Текст] / Е.Я.Юдин, С.В.Белов, С.К.Баланцев. - М.:Машиностроение,1983.-432с.
24. Вайнштейн В.Е. Безпека і охорона праці на підприємствах машинобудування [Текст] / В.Е. Вайнштейн. - К.: Вища школа, 1999.-262с.

25. Abo-Hammour, Z. S., Mirza, N. M., Mirza, S. M., and Arif, M. (2002). "Cartesian path generation of robot manipulators using continuous genetic algorithms." *Robotics and Autonomous Systems*, 41: 179–223.
26. Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (1972). *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*. Dover Publications, New York.
- Ahmed Bazaz, S. and Tondur, B. (1999). "Minimum time on-line joint trajectory generator based on low order spline methods for industrial manipulators." *Robotics and Autonomous Systems*, 29: 257–268.
26. Andersen, H. J. (2001). *Sensor Based Robotic Laser Welding - Based on Feed Forward and Gain Scheduling Algorithms*. Ph.D. thesis, Aalborg University.
27. Bae, K. and Park, J. (2006). "A study on development of inductive sensor for automatic weld seam tracking." *Journal of Materials Processing Technology*, 176: 111–116.
28. Bae, K. Y., Lee, T. H., and Ahn, K. C. (2002). "An optical sensing system for seam tracking and weld pool control in gas metal arc welding of steel pipe." *Journal of Materials Processing Technology*, 120: 458–465.
29. Barnhill, R. E. and Riesenfeld, R. F. (1974). *Computer Aided Geometric Design*. Academic Press New York.
30. Barr, A. H., Currin, B., Gabriel, S., and Hughes, J. F. (1992). "Smooth interpolation of orientations with angular velocity constraints using quaternions." In "Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques," pages 313–320. ACM Press, New York, USA.
31. Bauchspies, A., Absi Alfaro, S. C., and Dobrzanski, L. A. (2001). "Predictive sensor guided robotic manipulators in automated welding cells." *Journal of Materials Processing Technology*, 109: 13–19.
32. Carozzi, C., Magnani, G., and Nicolodi, S. (1995). "Implementation of sensorbased control algorithms in an industrial robot controller." *Control engineering practice*, 3: 1307–1313.

33. Илюшин И.Э. Алгоритмы управления сварочными роботами-манипуляторами на основе статистической модели конфигурационного пространства / И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2016. – № 1 (12). – С. 22–29.
34. Кожевников М.М. Планирование оптимальных траекторий промышленных роботов-манипуляторов на основе статистических моделей конфигурационного пространства / М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, И. Э. Илюшин // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013): материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 23 октября 2013 г. / редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2013. – С. 58–59.
35. Илюшин И.Э. Автоматическое управление промышленными роботами-манипуляторами при наличии технологических ограничений / И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 3–6 октября 2018 г. – М. : БГТУ, 2018. – С. 71–74.
35. Квитковская З.Ю. Разработка технологии сборки и роботизированной сварки рабочего колеса промышленного вентилятора: выпускная квалификационная работа / З.Ю. Квитковская: Рос. гос. проф. - пед. ун - т инж. - пед. образования, Каф. Инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и металлургии, Екатеринбург, 2019. - 87 с.
36. Лашкарёв Е.Э. Определение положения электрода сварочного робота с использованием технического зрения, Магистерская диссертация по направлению подготовки: 15.04.06 - Мехатроника и робототехника, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, 2018. - 116 с.