

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Удосконалення технології виготовлення таврових балок з
дослідженням впливу величини регульованого навантаження
на зменшення залишкових напружень**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП_м-61
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Довбуш М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Барановський В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Довбуш Максим Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виготовлення таврових балок з дослідженням впливу величини регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень

Керівник роботи Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2024 року № 4/7-1096

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 20.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: існуючі технологічний процес виготовлення таврових балок, методики визначення залишкових напружень

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проектна частина. 5. Безпека в надзвичайних ситуаціях, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):
результати дослідження у вигляді таблиць, схем, графіків

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 15 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Довбуш М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барановський В.М..

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Довбуш М.А. Удосконалення технології виготовлення таврових балок з дослідженням впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень. Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 131 Прикладна механіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2024 р.

Метою даної роботи є підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання таврових балок під шаром флюсу та аналізу впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи магістра є технологічний процес виготовлення таврових балок і аналіз впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень.

Предметом дослідження є взаємозв'язок впливу параметрів залишкових деформацій на показники якості зварювання таврових балок.

В результаті дослідження було розроблено технологію автоматичного зварювання таврових балок під шаром флюсу та технологію правки залишкових деформацій балок безпосередньо в процесі зварювання, складено циклограму та маршрутно-операційну карту процесу зварювання.

Обсяг роботи складає 88 сторінок, 8 таблиць, 23 рисунків, 9 додатків, 25 бібліографічних посилань.

Ключові слова: таврова балка, технологія, автоматичне зварювання, флюс, навантаження, напруження, циклограма, операційна карта.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз сучасного стану виготовлення таврових балок	8
1.2 Методи та обладнання зварювання таврових балок	12
1.3 Переваги автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу на автоматичній потоковій лінії	14
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	20
2.1 Аналіз залишкових напружень і деформацій при зварюванні таврових балок	20
2.2 Методики розрахунку залишкових зварювальних деформацій .	23
2.3 Методи виправлення залишкових зварювальних деформацій ...	31
3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	38
3.1 Опис об'єкту дослідження	38
3.2 Розрахунок основних параметрів режиму зварювання	42
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	45
4.1 Вибір технологічного процесу отримання заготовки для зварювання	45
4.2 Вибір автоматичної лінії зварювання балок	55
4.3 Контроль зварних з'єднань	64
4.4 Розробка маршрутної технології збирання та зварювання	67
5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	69
5.1 Надзвичайні ситуації, які пов'язані вибухами	69
5.2 небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні	72
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	78
ДОДАТКИ	81

ВСТУП

Актуальність роботи. Зварні балки таврового профілю набули широкого поширення в різних галузях сучасної промисловості.

Однак на сьогоднішній день при їх виготовленні існує проблема залишкових деформацій, що неминуче виникають у процесі зварювання, та недостатньо поширення сучасних високоефективних технологій усунення цих деформацій.

Як правило, усунення деформацій балок потребує додаткових операцій з механічної правки із застосуванням нагрівання балки.

Такі операції вимагають наявності на виробництві додаткової ділянки механічного виправлення, тягнути за собою лишні витрати часу та робочої сили.

Мета роботи – підвищення показників якості виготовлення зварних виробів шляхом розробки технології автоматичного електродугового зварювання таврових балок під шаром флюсу та аналізу впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень

В кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналізи існуючих способів зварювання таврових балок;
- виявити основні причини появи залишкових деформацій та способи їх виправлення;
- розробити удосконалену технологію виготовлення таврових балок;
- провести аналіз впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень;
- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення таврових балок і аналіз впливу регульованого навантаження на зменшення залишкових напружень.

Предмет дослідження – взаємозв'язок впливу параметрів залишкових деформацій на показники якості зварювання таврових балок.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію виготовлення та технологічний процес електродугового автоматичного зварювання таврових балок.

Практичне значення. Результати роботи можна застосовувати під час розрахунку параметрів і режимів електродугового зварювання таврових балок.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XIII Міжн. науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XIII Міжн. науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків щодо роботи, бібліографічного списку зі 25 найменувань, 11 додатків. Робота викладена на 88 сторінках машинописного тексту, що включає 23 рисунки та 8 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сучасного стану виготовлення таврових балок

Процес виготовлення металевих балок, що мають Н - подібний (або двотавровий) переріз, досить складний. Для отримання на виході якісної конструкції необхідно використання перевіреної високоякісної сировини, сучасних високотехнологічних виробничих механізмів, а також присутність висококваліфікованих кадрів. У той же час необхідний якісний вхідний контроль, всебічний контроль всіх етапів виготовлення та обробки елементів, а також контроль виробів на виході. Тільки такий підхід до виробництва здатний гарантувати високу якість та експлуатаційні характеристики готового виробу.

Така конструкція, як двотаврова балка, має ряд переваг, що виділяють її в ряді інших металоконструкцій, що використовуються в будівництві:

- зварні двотаврові металоконструкції здатні витримувати величезні статичні та динамічні навантаження, не втрачаючи при цьому своїх експлуатаційних показників. Завдяки таким характеристикам, як правило, посилення двотаврової балки не потрібно;
- легкість транспортування і відносна простота монтажу роблять двотаврові елементи незамінними при будівництві швидкомонтованих споруд;
- такі балки дуже популярні і широко використовуються для зведення будівель та споруд найрізноманітнішого призначення, тому ціни на них досить демократичні.

Технологію виготовлення двотаврових металевих балок можна умовно розділити на наступні етапи.

На першому етапі проводиться розкрій листового металу на смуги необхідного розміру. Розкроювання здійснюється за допомогою плазмового різання, за допомогою верстатів з числовим програмним керуванням. Для цього, використовуючи креслення, створюється програма, що автоматично керує всіма маніпуляціями, виробленими верстатом.

Для виготовлення кожної окремої марки двотаврової балки розробляється алгоритм для верстата. Основними перевагами використання такого програмованого обладнання є можливість розкривання металевого листа відразу кількома різаками, а також практично ідеальна якість і точність різання.

Наступний етап передбачає обробку бічних кромek на фрезерному верстаті. Технологія зварювання двотаврової балки передбачає фіксацію полиць щодо стінки двотавра за допомогою зварних швів. Тому, щоб зварювання балки було максимально якісним, грані елементів фрезеруються.

Третій етап виготовлення двотаврової металевої балки включає всі складальні операції. У деяких випадках, при дрібносерійному виробництві балкові конструкції можуть збиратися вручну, без використання спеціалізованого обладнання.

Однак такий підхід значно знижує якість готової продукції, збільшує час виготовлення всіх елементів та трудовитрати збирачів, що, своєю чергою, тягне за собою значне подорожчання готового продукту.

На сучасних металообробних заводах такі конструкції ставляться на конвеєр та виготовляються серійно великими партіями.

На великих підприємствах для збирання таких металоконструкцій використовуються спеціалізовані (в більшості випадків гідравлічні) стани, які дозволяють досягти ідеально симетричності конструкції та перпендикулярності стінки щодо полиць балки.

Конвеєрне складання двотаврів можна розділити на умовні стадії:

На першій стадії на стані закріплюються перша полиця і стінка. В результаті виходить Т-подібний переріз (тавр або таврова балка).

На другій стадії, після позиціонування та фіксації першої полиці та стінки, вся конструкція перевертається на 180 градусів. До перевернутої балки приставляється друга полиця, яка також позиціонується та фіксується.

На наступному етапі відбувається зварювання двотаврової балки. Цей процес дуже складний, тому що безпосередньо впливає на технічні характеристики та довговічність готового продукту, тому зварювання двотаврових балок буде розглянуто окремим пунктом.

Завершальним етапом виготовлення будь-якої металевої конструкції, у тому числі і двотаврової балки, є фінішне виправлення, обробка та вихідний контроль якості.

В результаті зварювальних робіт виріб піддається сильному нагріванню, а отже відбуваються теплові деформації металу. Для виправлення таких дефектів використовується прокатний верстат з безліччю роликів, який приводить до норми порушені геометричні параметри балки. Після виправлення геометрії, металоконструкція очищається від усіх забруднень піскоструминними установками і відправляється в камеру для фарбування. Після фарбування та проходження всіх стадій контролю якості, двотаврова балка відправляється на склад, для подальшого відвантаження замовнику.

В даний час балки двотаврового перерізу широко використовуються як у будівництві, так і при виробництві елементів металоконструкцій різних машин та обладнання. Такі балки мають високі показники надійності, міцності та експлуатаційні характеристики, а також високий ступінь технологічності. Перспективними видами балок є перфоровані балки, балки змінного січення, бістальні балки, синусоїдальні балки.

Технологічний процес складання та зварювання цих балок передбачає виконання низки транспортних операцій: передача заготовок у зону, де здійснюється кромкофрезерна операція, передача підготовлених заготовок у зону зварювання, орієнтація заготовок у просторі.

Слід зазначити, що вітчизняне транспортне обладнання, яке використовується в даний час на лініях з виробництва зварних балок, не є роботизованим, у кращому випадку має низьку ступінь автоматизації.

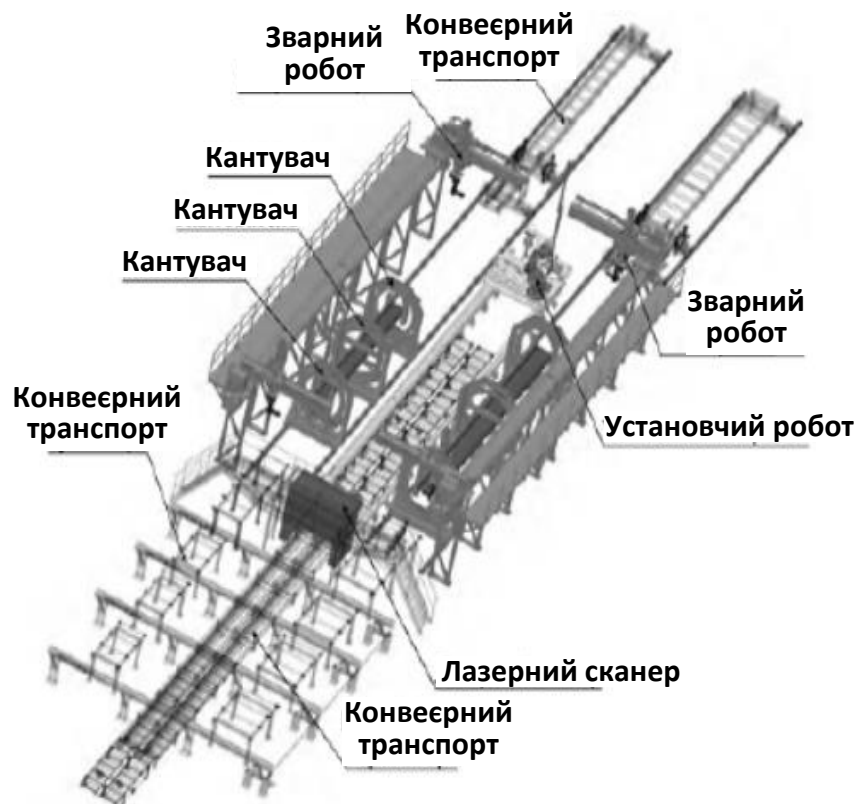
При зварюванні товстостінних конструкцій автоматизується безпосередньо зварювальний процес за рахунок застосування автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу.

Закордонні виробники виготовляють модульні автоматичні лінії (заводи) з виробництва зварних металоконструкцій балкового типу. Прикладом може бути лінія SBA (SteelBeamAssembler), розроблена австрійською компанією ZEMAN (Рис. 1.1).

До її складу входять такі елементи:

1. Конвеєрні транспорти, що доставляють деталі до зони зварювання.
2. Лазерний сканер, який визначає тип деталі.
3. Зварювальні кантувачі, що здійснюють обертання балки.
4. Роботи настанови, призначені для позиціонування дрібних деталей.
5. Зварювальні роботи, що виконують операції зварювання.

Лінія є повністю автоматизованою та роботизованою, що уможлиблює комплексне виробництво сталевих балок без потреби застосування ручних операцій.



Для керування лінією достатньо одного оператора.

Рисунок 1.1 – Схема автоматизованої лінії збирання та зварювання металоконструкцій компанії ZEMAN

SBA може обробляти всі види довгомірного металопрокату: прокатні профілі, зварні балки, гофробалки, балки змінного перерізу. При цьому заміна зварювального інструменту на пристосування для плазмового різання переорієнтує гілку лінії, наприклад, на «розпуск» двотаврів для отримання перфорованих балок тощо.

Використання подібних ліній дозволяє отримувати високу якість продукту при постійному зростанні продуктивності, скорочувати виробничі витрати та час.

Основні способи зварювання балок у промисловості пов'язані з високотемпературним нагріванням металу та подальшим охолодженням з різною швидкістю. Теплова енергія, що вводиться в зварне з'єднання в процесі зварювання, неминуче призводить до виникнення та розвитку в зварювальній конструкції напружено-деформаційного стану.

Напруги та деформації, що характеризують такий стан, називаються зварювальними напругами та зварювальними деформаціями.

Їх наявність у зварній конструкції може впливати не тільки на розміри та форму її елементів, на якість зварних з'єднань, але і на працездатність конструкції.

1.2 Методи та обладнання зварювання таврових балок

Для виготовлення таврових балок у промисловості та, особливо, у суднобудуванні найчастіше застосовуються такі види зварювання:

- дугове зварювання дротом суцільного перерізу серед інертного захисного газу;
- дугове зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі активного захисного газу;
- дугове зварювання порошковим дротом з флюсовим наповнювачем у середовищі активного захисного газу;
- дугове зварювання порошковим дротом із металевим наповнювачем у середовищі інертного захисного газу;
- дугове зварювання під шаром флюсу дротом суцільного перерізу.

Типи обладнання, що застосовуються для автоматизації процесу зварювання таврових балок:

- зварювальний трактор;

- зварювальна каретка;
- автоматична потокова лінія.

Зварювання двотаврової балки на великих металообробних підприємствах відбувається на сучасній автоматизованій лінії. Балка потрапляє у спеціальний кондуктор, усередині якого відбувається проварювання поясних швів майбутньої металоконструкції під шаром флюсу, повністю автоматичному режимі.

Таке зварювання двотаврових балок забезпечує максимальну якість з'єднання швів завдяки використанню захисного шару флюсу. Під час проведення зварювальних робіт шар флюсу захищає зварний шов, що дозволяє мінімізувати розбризкування розжарених крапель металу, без шкоди швидкості зварювання та якості з'єднання. Також завдяки шару флюсу остигання зварного з'єднання відбувається набагато більш плавно і рівномірно. При даному способі проведення зварювальних робіт, посилення двотаврової балки не потрібно завдяки максимальній міцності та надійності виготовленої конструкції.

У випадках випуску дрібних партій виробів або відсутності на підприємстві сучасного зварювального обладнання зварні з'єднання можуть виконуватися вручну. Зварювання двотавра може проводитися з використанням напівавтоматичного апарату, або з використанням звичайного електродугового зварювання. Елементи майбутньої балочної конструкції збираються звичайними хомутами та затискачами, а потім повністю проварюються. Зварювання балки електродуговим методом має безліч недоліків. До таких недоліків належать:

Низька швидкість виконання зварювальних робіт. Досить посередня якість зварних швів, порівняно з автоматичним зварюванням під флюсом.

Недостатня геометрична точність готового виробу, внаслідок ручного складання, перегріву та, як наслідок, великих деформацій, на відміну автоматизованого зварювального процесу.

Серйозні втрати (аж до 30 відсотків) металу через сильне розбризкування розжарених металевих крапель у процесі виконання зварювальних робіт.

1.3 Переваги автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу на автоматичній потоковій лінії

При автоматичному дуговому зварюванні під шаром флюсу на автоматичній потоковій лінії дуга 10 (рис. 1.2) горить між торцем зварювального дроту 1 і заготовкою, що зварюється 11 під шаром флюсу 12.

Товщина флюсу зварювальних деталей під час виготовлення таврових балок становить від 2 до 5 сантиметрів.

Зварювальний дріт безперервно надходить у зону зварювання за допомогою роликів 2, які подають зварювальний дріт зі швидкістю подачі зварювального дроту $V_{\text{п}}$.

До зварювального дроту через ковзний контакт - контактні ролики 15 підключають гнучкий мідний кабель великого перерізу від джерела зварювального струму 7.

Другий кабель підключають до заготовки, що зварюється 11.

У зону зварювання зі спеціального бункера 13 надходить зварювальний флюс. Флюс є гранульованим порошком, що складається з іонізуючих, газоутворюючих і шлакоутворюючих компонентів.

Довжину зварювального дроту від місця підведення струму до зварювальної дуги (торця дроту) називають вильотом 14.

Під впливом теплової енергії дуги плавиться метал, що зварюється, зварювальний дріт і частина флюсу, прилегла до зони горіння дуги.

При горінні зварювальної дуги 10 пари металу, флюсу і газу 3, впливаючи на розплавлений флюс 5, утворюють склепіння 4, який захищає область горіння дуги зверху.

Розплавлений флюс, маючи меншу щільність, спливає на поверхню розплавленого металу 9 зварювальної ванни.

Охолоджуючи, флюс покриває місце зварювання досить щільною шлаковою кіркою 6.

Після зварювання шлакову кірку видаляють.

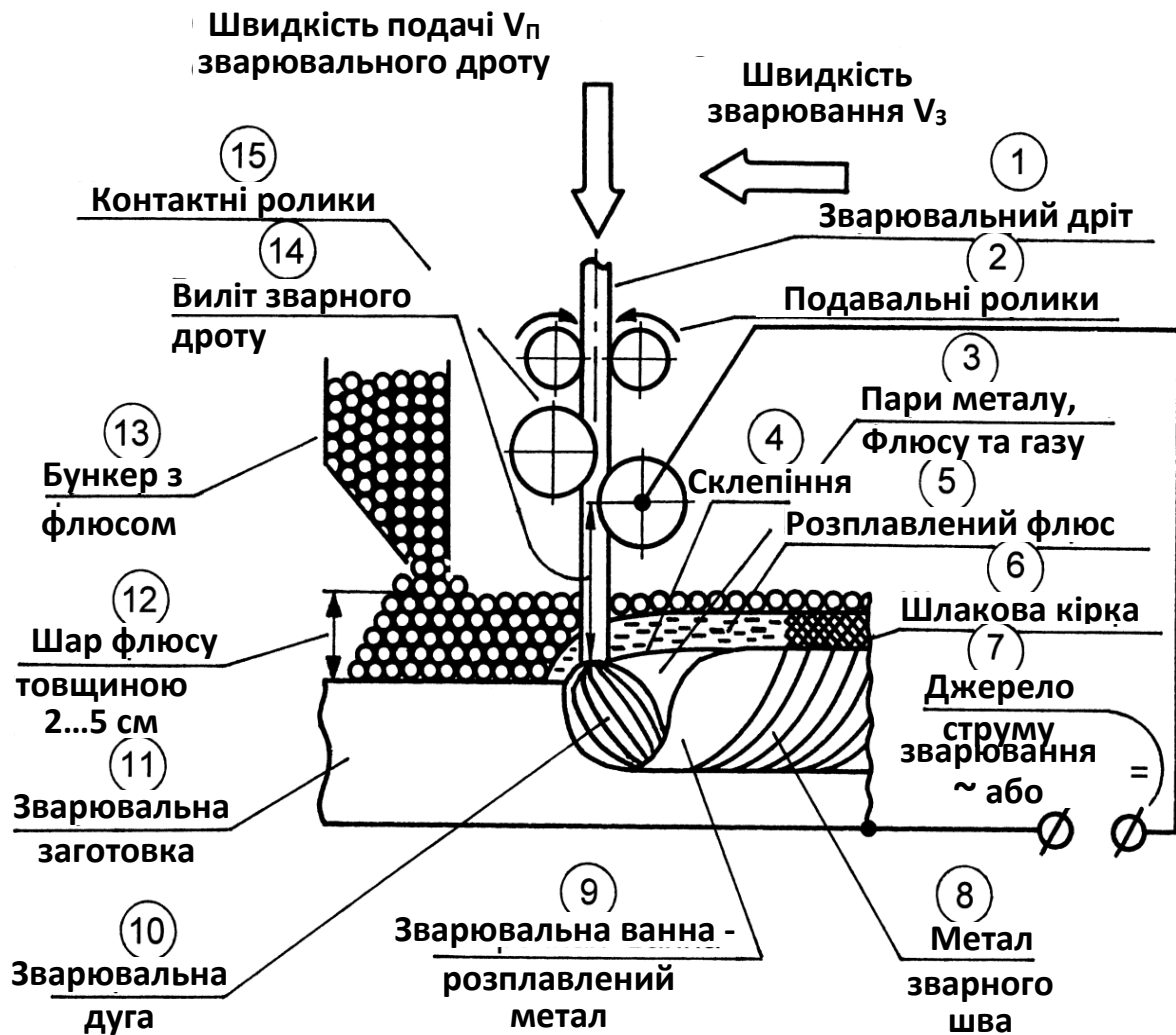


Рисунок 1.2 – Схема процесу автоматичного зварювання під шаром флюсу

У процесі зварювання зварювальний дріт переміщається вздовж шва зі швидкістю зварювання $V_{зв}$, яка узгоджується зі швидкістю подачі зварювального дроту $V_{п}$.

Тому при автоматичному зварюванні забезпечується сталість довжини дуги і відповідно стабільність зварювального процесу.

У міру переміщення зварювальної дуги розплавлений метал зварювальної ванни кристалізується і формується шов 8.

Розплавлений метал зварювальної ванни та метал шва захищені від повітря шарами рідкого шлаку, шлакової кірки та флюсу.

Крім того, компоненти, що входять до складу флюсу, розкислюють і легують метал.

Таким чином, шар флюсу: практично ліквідує розбризування розплавленого металу, забезпечує стійке горіння дуги, сприяє більш повному розкисленню та легуванню металу зварювальної ванни в порівнянні з ручним дуговим зварюванням, захищає рідкий метал від дії повітря, має низьку теплопровідність і тим самим уповільнює процес охолодження, що сприятливо позначається на поліпшенні фізико-механічних характеристик металу шва.

Основними перевагами зварювання під шаром флюсу в порівнянні з ручним дуговим зварюванням є: висока продуктивність; вища якість зварного з'єднання; можливість автоматизації та роботизації процесу зварювання; покращення умов праці зварників.

Великі сили струму, що використовуються для автоматичного зварювання, неможливі при ручному зварюванні, оскільки метал електрода буде перегріватися (відповідно до закону Джоуля-Ленца) і не потраплятиме в зварювальний шов, розбризкуючись на всі боки. При автоматичному зварюванні шар флюсу щільно облягає зварювальну ванну з розплавленим металом і електродний дріт, що плавиться, перешкоджаючи розбризуванню рідкого металу. Тому втрати металу на чад і розбризування при автоматичному зварюванні становлять 1...3%, а при ручному зварюванні для значно менших струмів 5...30%.

Збільшення зварювального струму і швидкості зварювання за рахунок автоматизації дозволяє зварювати метал більшої товщини і збільшити кількість металу, що наплавляється в шов, в одиницю часу.

Коефіцієнт наплавлення при зварюванні під шаром флюсу дорівнює 16...18 г/(А·год), що приблизно вдвічі більше ніж при ручному дуговому зварюванні.

Поліпшення якості зварних сполук досягається за рахунок: захисту розплавленого металу від впливу кисню, водню та азоту повітря; уповільненого охолодження зварного шва під шлаковою кіркою; більш глибокого проплавлення металу, що виключає утворення пор, раковин і шлакових включень у зварних швах; поліпшення форми шва та збереження сталості його фізико-механічних характеристик.

Основні недоліки автоматичного зварювання під шаром флюсу: обмеження використання при відрізняються від горизонтального просторових положеннях швів; неможливість візуального спостереження за процесом формування шва.

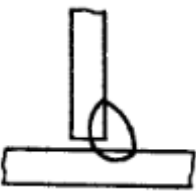
Конструкція має протяжні таврові шви, при складанні є необхідність виконання прихваток.

Для виконання прихваток можливе застосування ручного дугового зварювання або механізованого в середовищі захисного газу. Механізований спосіб зварювання в порівнянні з ручним має більшу маневреність. Крім того перевагами напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів є кращий захист зварювальної ванни, а також скорочення витрат на зачистку швів від бризок.

Для виконання швів великої довжини на металі середніх та великих товщин доцільно застосування автоматичного зварювання під флюсом. При зварюванні під флюсом виліт електрода значно менше, ніж при ручному дуговому зварюванні. Тому можна, не побоюючись перегріву електрода та відділення захисного покриття, у кілька разів збільшити силу зварювального струму, що дозволяє різко збільшити продуктивність зварювання, яке у 5-20 разів вище, ніж при ручному дуговому зварюванні, коефіцієнт наплавлення досягає 14-16 г/Аг. у деяких випадках навіть 25-30 г/Аг.

Плавлення електродного та основного металу відбувається під флюсом, що надійно ізолює їх від навколишнього середовища. Флюс сприяє отриманню чистого та щільного металу шва, без пір та шлакових включень, з високими механічними властивостями. Введення у флюс елементів-стабілізаторів і висока щільність струму в електроді дозволяє проводити зварювання металу значної товщини без обробки кромки. Практично відсутні втрати на чад та розбризкування електродного металу. Процес зварювання майже повністю механізований [4]. Основні технологічні та техніко-економічні характеристики ручного дугового зварювання покритими електродами, механізованого у вуглекислому газі або суміші газів та автоматичного зварювання під флюсом наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технологічні та техніко-економічні характеристики видів зварювання

Технологічні, техніко-економічні характеристики	Види зварювання		
	ручна дугова механізована	у вуглекислому газі та суміші газів	автоматична під флюсом
1	2	3	4
Доступність зварювального інструменту до місця зварювання	Обмежується довжиною та кутом нахилу електрода	Обмежується розмірами та кутом нахилу головки шлангового напівавтомата	Обмежується розмірами зварювального трактора або зварної головки
Просторове положення шва при зварюванні	Будь-яке	Будь-яке	«Нижнє» та «в човник»
Можливість виконання криволінійних швів	Можливо	Можливо	Неможливо
Типи зварних з'єднань	Всі типи	Всі типи	Всі типи
Катет кутового шва, що виконується в один прохід при положенні зварного з'єднання: у кут 	9.5	8	8

1	2	3	4
у човник 	12	12	16
Трудомісткість зварювання при виконанні 1 м шва для таврових з'єднань, при товщині деталей, мм:			
20	0,8	0,3	0,2
40	3	1,2	0,6
Втрати зварювального матеріалу *	Найбільші через наявність недогарків	Високі через розбризкування	Найменші
Якість зварювання	Нестабільна, залежить від кваліфікації зварювальника	Залежить від кваліфікації зварювальника	Стабільна, висока
Можливість збільшення продуктивності зварювання	Шляхом застосування високопродуктивних електродів		Шляхом застосування зварювання з присадним порошковим матеріалом

Вибираємо автоматичне електродугове зварювання під флюсом.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз залишкових напружень та деформацій при зварюванні таврових балок

Виникнення зварювальних напруг та деформацій обумовлено:

1 Локальне нерівномірне нагрівання металу.

Як відомо, всі метали під час нагрівання розширюються, а при охолодженні стискаються. У процесі зварювання, в результаті місцевого нагрівання металу та його подальшого охолодження, у зварному з'єднанні утворюється нерівномірне температурне поле.

Таким чином, в деталі, що зварюється, виникають стискаючі і розтягуючі термічні внутрішні напруги. Величина цих напруг залежить головним чином від температури нагрівання, коефіцієнта лінійного розширення та теплопровідності металу, що зварюється.

При зварюванні жорстко закріпленої конструкції, величина термічної напруги може зростати внаслідок обмеженості її вільного переміщення у процесі нагрівання та охолодження.

При цьому спочатку в конструкції, що нагрівається через її розширення будуть виникати стискаючі внутрішні напруги, а при подальшому охолодженні в процесі її укорочення - напруги, що розтягує.

Коли величина внутрішньої напруги досягне рівня межі плинності, у металі почнуть відбуватися пластичні деформації, що призводять до зміни форми та розмірів зварюваного виробу. Після закінчення процесу зварювання, в областях, що зазнали нерівномірного пластичного деформування, виникнуть залишкові напруги.

2 Нерівномірні структурні перетворення на металі. При зварюванні конструкцій з вуглецевих і легованих сталей при нагріванні вище критичних температур можуть виникнути напруги, обумовлені фазовими перетвореннями зі зміною типу кристалічних ґрат і утворенням фази, що володіє великим питомим обсягом та іншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Найбільша напруга може виникнути при зварюванні конструкцій з легованих сталей, схильних до загартування. У таких сталях перетворення структур йде з утворенням так званих гартових структур (мартенситу), що володіють великим питомим обсягом, вищою твердістю, крихкістю та зниженою пластичністю.

Таке перетворення супроводжується збільшенням обсягу; прилеглий до нього метал відчуватиме напруги, що розтягують, а ділянки зі структурою мартенситу розтягують. У непластичних сплавах це може призвести до утворення тріщин.

3 Ливарне осадження наплавленого металу. При охолодженні та затвердінні розплавленого металу шва відбувається його усадка. Це тим, що з тверднення збільшується щільність металу, у результаті його обсяг зменшується. Внаслідок нерозривного зв'язку наплавленого металу з основним металом, рештою в незмінному протидіючому усадці, у зварному з'єднанні виникають поздовжні та поперечні внутрішні напруги, що викликають відповідні деформації зварної сполуки.

В результаті поздовжньої усадки у з'єднанні виникає деформація у поздовжньому напрямку щодо осі шва, а поперечна, як правило, викликає кутові деформації.

Деформації, що виникають при зварюванні, як і напруги, можуть бути тимчасовими і залишковими, а за напрямом дії – поздовжніми та поперечними.

Залежно від характеру, форми та розмірів деталей, що зварюються, розрізняють зварювальні деформації, рис. 2.1:

- загальні – спотворюють форму та розміри всієї конструкції (зміна лінійних розмірів конструкції та викривлення її осей у поздовжньому та поперечному напрямках);
- місцеві – поширюються на окремі елементи конструкції (деформації окремих елементів при втраті стійкості конструкції та кутові деформації);
- температурні (або вільні) деформації, що викликані фізичною властивістю металу розширюватися при нагріванні

$$\varepsilon_{\alpha} = \alpha \cdot T, \quad (2.1)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

T – зміна температури, $^{\circ}\text{C}$;

- деформації, що спостерігаються ε_c – деформації елементів конструкцій, які можна визначати за допомогою чутливих приладів;

- внутрішні деформації ε_{BH} , які виникають внаслідок утруднень при усадці шва внаслідок нерівномірного нагрівання:

$$\varepsilon_{BH} = \varepsilon_n + \varepsilon_{\alpha}. \quad (2.2)$$

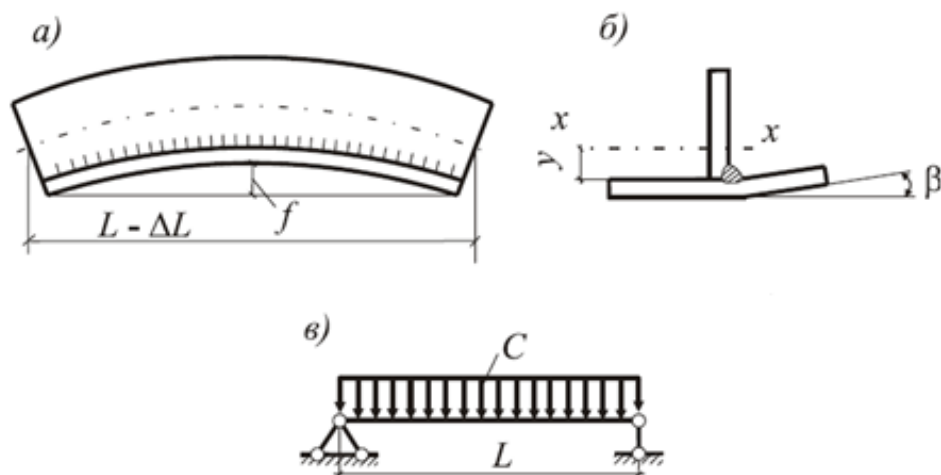


Рисунок 2.1 – Схема деформації та навантаження при зварюванні таврового елемента: а – серповидність елемента; б – деформації вигину полиці; в – схема навантаження

Нерівномірне нагрівання в процесі зварювання призводить до нерівномірної пластичної деформації, тому внутрішні деформації складаються з пружних і пластичних :

$$\varepsilon_{BH} = \varepsilon_{np} + \varepsilon_{nl}. \quad (2.3)$$

Загальна деформація при зварюванні:

$$\varepsilon_{BH} = \varepsilon_{np} + \varepsilon_{nl} - \varepsilon_{\alpha}. \quad (2.4)$$

Величина та характер деформацій в основному визначаються товщиною та властивостями основного металу, режимом зварювання, формою шва та конструктивними особливостями деталей, що зварюються.

Чим більше товщина металу, що зварюється, тим менше величина виникають в ньому деформацій. Це пояснюється більшою жорсткістю конструкції, що зварюється.

Значний вплив на величину деформацій має значення коефіцієнта лінійного розширення металу. Чим більше значення цього коефіцієнта, тим більше величина, що виникають деформацій.

У теорії зварювальних деформацій та напруг виділяють два основні методи вирішення задачі.

Перший метод фіктивних сил. Цей спосіб заснований на припущеннях одномірності поля напружень та гіпотезі плоских перерізів Він має на увазі, що в процесі остигання металу в зоні шва виникають усадкові розтягувальні напруги, які у вигляді активного навантаження, прикладеного до деталі, що зварюється. Застосовуючи гіпотезу плоских перерізів і враховуючи, що в даному поперечному перерізі внутрішні сили знаходяться в рівновазі, можна знайти основні параметри для визначення закону розподілу цих усадкових напруг.

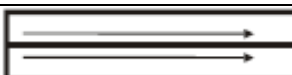
Другий метод заснований на вирішенні зворотної температурної задачі середовища, що деформується. У процесі дослідження зварювальних напруг і деформацій, що встановлюються, встановлюється закон розподілу температури деталі, що зварюється, для будь-якого моменту часу в залежності від потужності джерела та швидкості його переміщення. Далі, на підставі побудованої температурної кривої та гіпотези плоских перерізів, знаходять як тимчасові, так і залишкові напруження та деформації для даного поперечного перерізу деталі, що зварюється.

2.2 Методики розрахунку залишкових зварювальних деформацій

Залишкові зварювальні деформації визначають безпосередньо як суму залишкових пластичних деформацій укорочення, що виникають у зварювальній конструкції – від нагріву до повного остигання.

Обидві методики передбачають принцип одночасного заварювання шва по всій довжині елементів, а також, що у всіх перерізах елементи однакові. залишкові зварювальні деформації визначають безпосередньо як суму залишкових пластичних деформацій укорочення, що виникають у зварювальній конструкції – від нагріву до повного остигання.

Таблиця 2.2 – Способи накладання зварних швів

Зразок	Спосіб накладання зварних швів	
Балка 1	Кругову за один прохід	
Балка 2	Від середини до країв	
Балка 3	В одному напрямку	

Таблиця 2.3 – Конструктивні параметри зварного шва та режими зварювання

Зразок	Довжина (L), мм	Товщина полиці (t_p), мм	Зварювальний струм ($I_{св}$), А	Напруга дуги (U_d), В	Катет шва (K), мм	ККД, %
Балка 1	0,8	3	100	32	4	0,65
Балка 2	0,8	5	170	32	6	0,65
Балка 3	0,8	3	100	32	4	0,65

Таблиця 2.4 – Результати вимірювання деформації у зварних балках

Зразок	Прогин (f), мм	Кути вигину полиць (β_1 ; β_2), град	Гранично допустимий прогин (f_{max}), мм	Гранично допустимі кути вигину полиць (β_1 ; β_2), град
Балка 1	-6	2,6; 2,0	-3,2	0,6
Балка 2	-2	1,2	-3,2	0,6
Балка 3	-1	0,5	-3,2	0,6

При зварюванні таврового елемента двостороннім швом спостерігається укорочення на величину ΔL , прогин f та вигин полиць (грибоподібність) на кут β (рис. 2.1, б).

При використанні даної методики визначаються елементи деформацій, що виникають у зварному з'єднанні.

Це поздовжні та поперечні залишкові пластичні деформації, що створюють поздовжню та поперечну усадку Δ_{np} і Δ_{non} .

Як розрахунковий параметр, що характеризує дію поздовжніх пластичних деформацій, використовується фіктивна поздовжня сила усадки P_{yc} (рис. 2.1), яка може бути обчислена за формулою:

$$P_{yc} = B \cdot q_n, \quad (2.5)$$

де B – коефіцієнт, що враховує їх теплофізичні властивості та тип зварного шва.

Погонна енергія дуги:

$$q_n = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{V_{zg}} \quad (2.6)$$

де V_{zg} – швидкість зварювання.

Усадкова сила пропорційна площі зони пластичної деформації і прикладається до центру тяжкості цієї площі

$$P_{yc2} = (1.3 - 1.44) \cdot P_{yc}. \quad (2.7)$$

Поздовжнє укорочення від зварювання поздовжніх швів:

$$\Delta = \frac{P_{yc2} \cdot L}{E \cdot A}, \quad (2.8)$$

де L – довжина балки;

A – площа поперечного перерізу;

E – модуль пружності.

При цьому можна вважати, що усадкова сила прикладена на лінії контакту елементів, що зварюються.

Зварювання поздовжніх швів викликає кутовий поворот ϕ кінців балки та її прогин f , які визначаються за формулами:

$$\phi = \frac{P_{yc} \cdot e \cdot L}{E \cdot J}; \quad (2.9)$$

$$f = \frac{P_{yc} \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot J}. \quad (2.10)$$

При зварюванні поздовжніх швів у таврових балках виникають деформації вигину полиці.

$$\beta_{(1+2)} = 2 \cdot \beta_1 + \beta_k. \quad (2.11)$$

Деформація вигину від усадки катета шва

$$\beta_k = \varepsilon_T \cdot D. \quad (2.12)$$

де ε_T – відносна деформація, що відповідає межі плинності металу шва;

D – коефіцієнт, що залежить від товщини стінки.

У другій методиці для визначення внутрішніх зусиль, які викликають укорочення балки, прогин і вигин полиці, розраховується фіктивне рівномірно розподілене навантаження C , що діє на шарнірно-оперту балку і викликає її кривизну.

Момент цього навантаження C дорівнює максимальному прогину f у середині балки довжиною L і визначається за формулою:

$$f = \frac{C \cdot L^2}{8} \quad (2.13)$$

Кривизна C рівна:

$$C = \frac{\mu \cdot q_{II} \cdot y}{J_x}, \quad (2.14)$$

де y – координата шва, см;

J_x – момент інерції поперечного перерізу елемента щодо осі x ;

q_n – погонна енергія дуги.

Вкорочення елемента після зварювання зручніше оцінювати по лінії центру тяжіння

$$\varepsilon_{\text{цт}} = \frac{\sum \varepsilon_{\text{нл.ук}}}{A}. \quad (2.15)$$

Тоді абсолютне укорочення елемента після зварювання визначається виразом

$$\Delta L = \varepsilon_{um} \cdot L. \quad (2.16)$$

Грибоподібність полиць визначають за формулою

$$\Delta = 0.5 \cdot b_n \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2.17)$$

де b_n – ширина полиці.

Кут згину полиць можна визначити за формулою

$$\beta = 0.1 \cdot (k/t_n - 0.1), \quad (2.18)$$

де k – катет шва;

t_n – товщина полиці.

Результати розрахунку показників залишкових деформацій наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку показників залишкових деформацій

Взірець	ε_{um} , мм ²	C , 1/м	ΔL , мм	Δ , мм	f , мм	$\beta_1 \sim \beta_2$, град
Балка 1	$-1,91 \cdot 10^{-3}$	$-3,48 \cdot 10^{-5}$	-1,53	5,50	-2,8	3,5
Балка 2	$-1,90 \cdot 10^{-3}$	$-2,06 \cdot 10^{-5}$	-1,49	5,52	-1,6	3,5

1. Мінімальні значення прогину f та кутів вигину полиць β_1 і β_2 отримані при зварюванні переривчастим швом.

Значення f , β_1 та β_2 лежать у допустимих межах.

Балка з переривчастим швом не потребує виправлення.

2. При зварюванні поясних швів способом від середини до країв значення прогину f нижче гранично допустимих, у той час як кути вигину полиць у два рази перевищують мінімально допустимі значення.

Балка вимагає редагування.

3. Найбільші деформації характерні для балки, звареної в кругову однопрохідним швом.

Більш того, зазначений спосіб накладання зварного шва призводить до скручування балки щодо поздовжньої осі під дією моментів сил, що крутять балку.

4. Значення прогину f , які розраховані з використанням методики 1 і методики 2, відрізняються від реальних значень балки 1 приблизно в 2 рази, а для балки 2 відповідають виміряним після зварювання.

Розрахункові значення кутів згинання полиць найбільш близькі до виміряних при використанні першої методики.

Для визначення залишкових напружень розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.2.

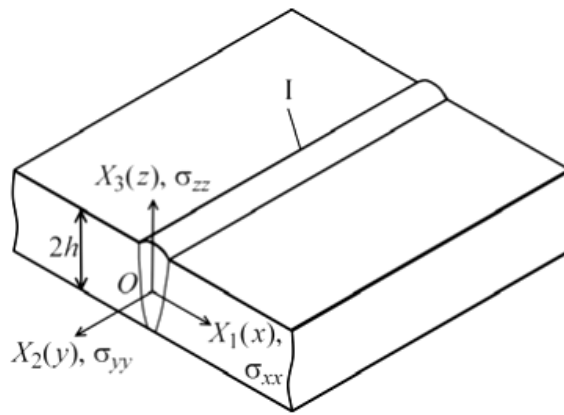


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку: I – зварний шов

Для подальшого аналізу приймаємо, що під час зварювання зварний шов I (рис. 2.2) нескінченного плоского шару, товщина якого $2h$, знаходиться під дією пластичних деформацій $\varepsilon_{ij}^0(i, j = x, y)$.

Віднесемо плоский шар до системи координат $OX_1X_2X_3$, при цьому введені безрозмірні координати позначимо як $x = X_1/h$, $y = X_2/h$, $z = X_3/h$.

Застосувавши рівняння рівноваги $\varepsilon_{xx}^0 = \varepsilon_{xx}^0(x, z)$, $\varepsilon_{yy}^0 = \varepsilon_{yy}^0(x, z)$, $\varepsilon_{yz}^0 = \varepsilon_{xy}^0$, $\varepsilon_{zz}^0 = \varepsilon_{zz}^0(x, z)$, $\varepsilon_{xz}^0 = \varepsilon_{xz}^0(x, z)$ та відомі співвідношення між компонентами напружень і пружних деформацій $\varepsilon_{yy} = 0$, $\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = 0$ напружений стан плоского шару

$$\bar{V}^2 \sigma = \theta(x, z), \quad \bar{V}^2 \sigma_{zz} = \frac{\partial}{\partial x^2} \theta, \quad (2.19)$$

$$\text{де } \bar{V}^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}; \quad \sigma = \sigma_{xy} + \sigma_{zz}.$$

Розв'язавши функції σ та σ_{zz} визначаємо нормальні, дотичні та осьові напруження, відповідно, σ_{xx} , σ_{xz} та σ_{yy} за формулами:

$$\left. \begin{aligned} 2\sigma_{xz} &= - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial \sigma_{zz}(\eta, z)}{\partial z} \operatorname{sng}(x - \eta) d\eta; \\ \sigma_{xx} &= \sigma - \sigma_{zz}; \quad \sigma_{yy} = -E\varepsilon_{yy}^0 + \mu\sigma \end{aligned} \right\}, \quad (2.20)$$

де E – модуль Юнга; μ – коефіцієнт Пуасона.

Прийнявши крайові умови для ненавантаженого плоского шару $\sigma_{zz} = 0$, $\partial \sigma_{zz} / \partial z = 0$ та після розв'язання (2.20), отримали

$$\sigma_{xx} = \frac{E \left[\varepsilon_{xx} (1 + \mu) + \varepsilon_{yy}^0 (1 - \mu^2) \right]}{\mu (1 - \mu^2)}; \quad \sigma_{yy} = E \left\{ \frac{\left[\varepsilon_{xx} (1 + \mu) + \varepsilon_{yy}^0 (1 - \mu^2) \right]}{(1 - \mu^2)} - \varepsilon_{yy}^0 \right\}. \quad (2.21)$$

Як приклад, виконаємо розрахунок залишкових напружень для полиці балки 1. Режими зварювання наведено у табл. 2.3. На поверхні зварного з'єднання залишкові напруження σ_{ij} або розподіл компонент поля та зони пластичних деформацій $2x_{0j}$ визначали за наведеною методикою.

На рис. 2.3 та 2.4 наведено відповідно, залежність зміни залишкових напружень та поверхні відгуку розподілу компонент поля залишкових напружень за товщиною від значення поля пластичної деформації.

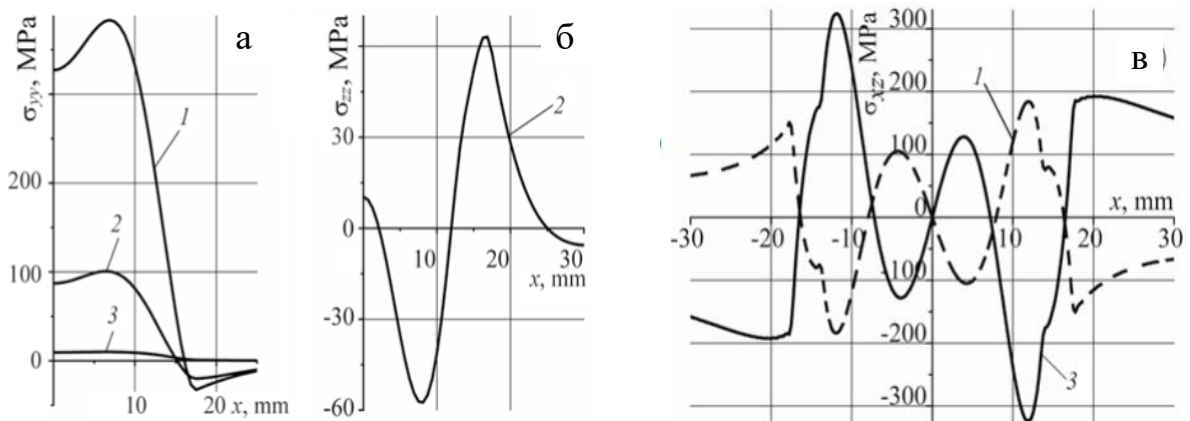


Рисунок 2.3 – Залежність зміни залишкових напружень зварного з'єднання: а – поперечних σ_{xx} ; б – осьових σ_{yy} ; 1 – на лицьовий стороні; 2 – серединній стороні; 3 – зі сторони кореня шва

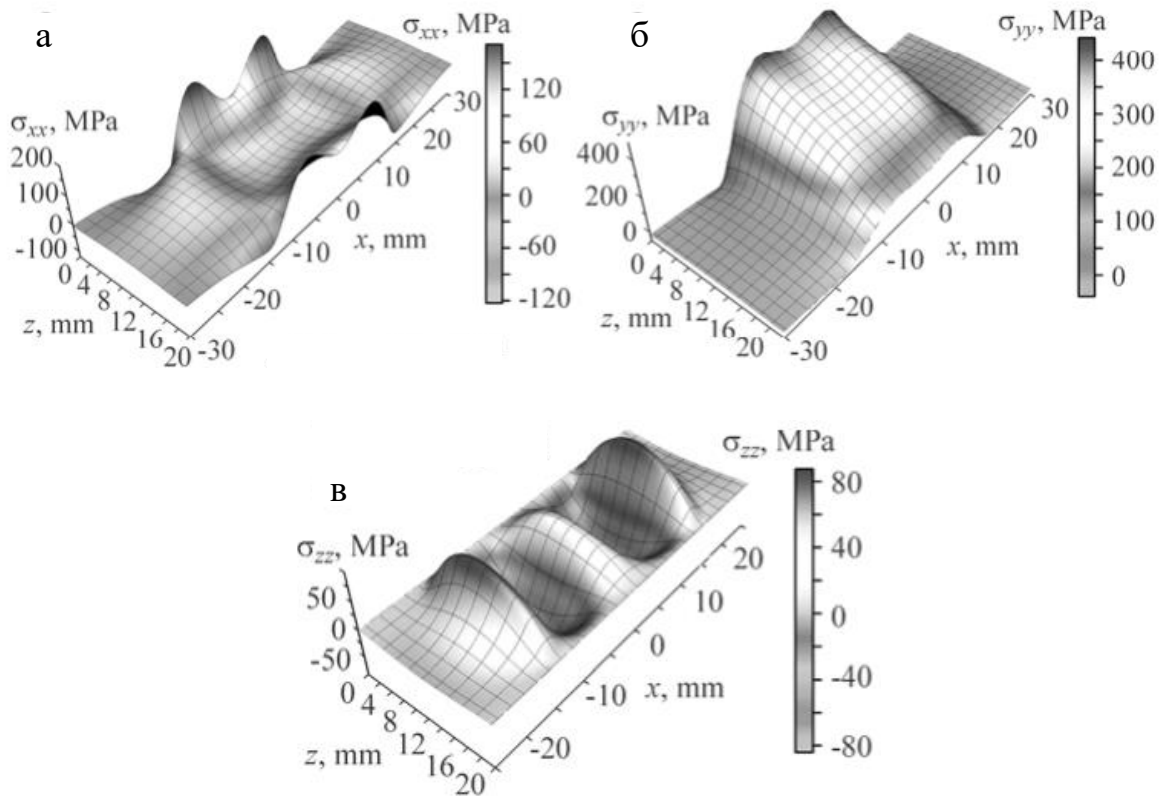


Рисунок 2.4 – Поверхня відгуку зміни розподілу компонент залишкових напружень: а – поперечних σ_{xx} ; б – осьових σ_{yy} ; в – нормальних σ_{zz}

Аналізуючи поверхню відгуку (рис. 2.4) можна констатувати, що основний вплив на міцність конструкції зварного з'єднання мають залишкові осьові σ_{yy} напруження та залишкові поперечні σ_{xx} напруження.

При цьому максимальні значення цих залишкових напружень, які становлять 80...90% отримано від границі міцності лицьової поверхні зварного шва (металу) у зоні термічного впливу. При цьому максимальні значення осьових σ_{yy} та поперечних σ_{xx} напружень повільно (плавно) зменшуються до області наближення до кореня зварного шва.

Доволі значні значення залишкових напружень верхньої частини зварного з'єднання є наслідком зміни та впливу коефіцієнта температурного розширення та властивостей границі текучості.

Крім того, на середині поверхні шва зварного з'єднання нормальні залишкові напруження σ_{zz} мають найбільші значення рівні 80%.

2.3 Методи виправлення залишкових зварювальних деформацій

Механічні способи - вони засновані на створенні пластичних деформацій подовження в холодному стані з метою виправлення пластичних деформацій укорочення або вигину, спричинених зварюванням (холодне виправлення). Цей спосіб застосовують при товщині заготовок менше 7-8 мм. Застосовують згинання, розтягування, осадження металу за товщиною під пресом. прокатування, проковування. Останні дві операції виконують у межах шва та навколошовної зони. В результаті холодної редагування розміри та конфігурація виробу доводяться до заданих проектних значень. Необхідно враховувати, що надмірна деформація при рихтуванні виробу може спричинити появу тріщин у шві та навколошовній зоні, що для конструкції неприпустимо. Холодне виправлення виконують за допомогою пресів, домкратів, вальців або вручну ковальським інструментом;

Термічні методи – гаряча правка. Вона заснована на створенні пластичних деформацій конструкції – у гарячому стані при електричному чи газовому нагріві. Цим способом можна усунути викривлення товстостінних зварних елементів, а також випучини в листових конструкціях. При цьому способі редагування метал нагрівають плямами або ділянками, чим викликають пластичні деформації укорочення – стискування. Вуглецеві сталі зазвичай нагрівають полум'ям до 600...800°C. Необхідно прагнути короткочасного і концентрованого нагрівання, щоб сусідні зони залишалися ненагрітими і чинили опір розширенню нагрітого металу. Про результати редагування можна судити лише після повного остигання конструкції.

Листові елементи іноді після нагрівання осідають молотом на площині. Так як нагрітий метал має низьку межу плинності (він пластичний), то він легко осідає, і в ньому при цьому виникають пластичні деформації укорочення.

Зварні конструкції невеликого розміру з метою редагування шляхом зняття внутрішніх напруг піддають відпалу в жорстких затискних пристосуваннях.

Так, після зварювання конструкцію пружно деформують і затискають у пристосуванні, щоб вона набула правильної форми. Після нагрівання її разом з пристосуванням до температури $550\ldots 650^{\circ}\text{C}$ з подальшого повільного охолодження, звільнена з пристосування конструкція зберігає форму, яка була їй надана в пристосуванні.

Термічна правка шляхом загального нагрівання конструкції при відпустці без використання пристосування неможлива, оскільки тільки напруга усувається в зонах розтягування та стиснення. Отже, деформації, що спотворюють геометричну форму деталі можуть зберегтися.

До дорогого способу гарячої редагування вдаються тільки в технічно та економічно обґрунтованих випадках.

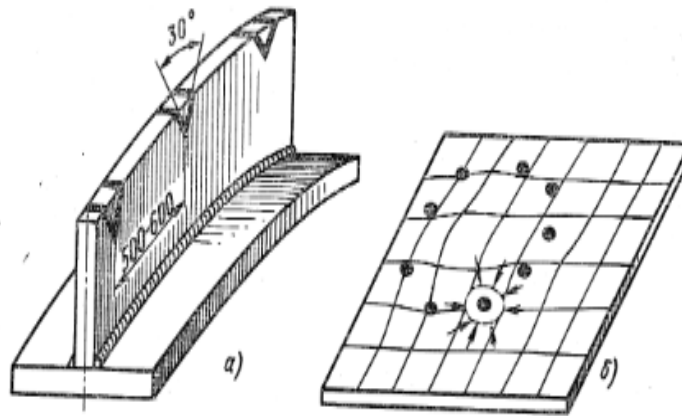


Рисунок 2.5 – Схема виправлення нагріванням: а – таврової балки; б – листа

Для усунення деформацій таврових балок використовується термічна редагування з місцевим нагріванням. Вона заснована на розвитку пластичного деформування стиском розтягнутих ділянок конструкції.

При редагуванні цим методом зазвичай нагрівають розтягнуту частину деформованої деталі.

Нагрів виробляють в окремих ділянках. При цьому розширенню металу перешкоджають навколишні його холодні частини деталі.

У цих ділянках метал відчуває пластичну деформацію стиснення та укорочення розтягнутих волокон металу.

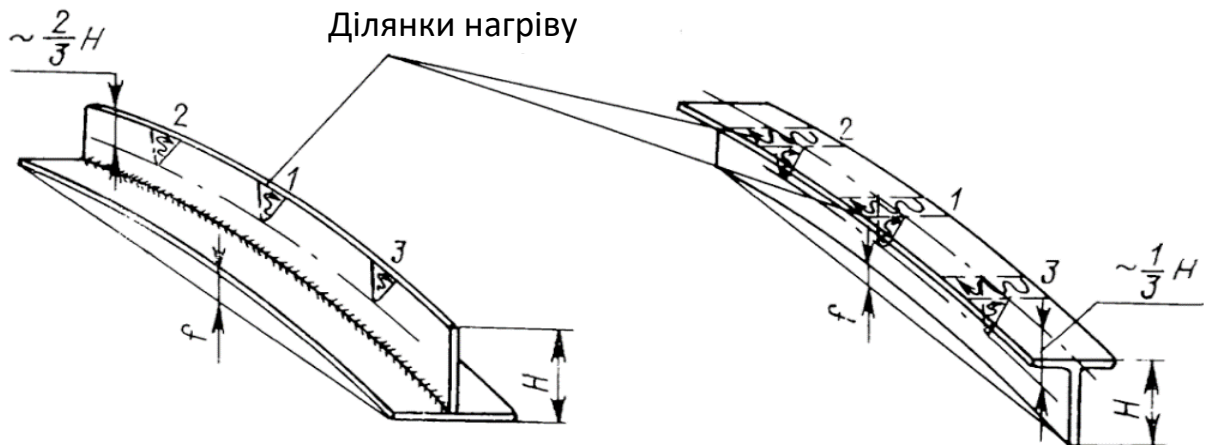


Рисунок 2.6 – Схема виправлення поздовжнього вигину зварних та катаних балок у разі вигину на пояс

При подальшому охолодженні ці ділянки, скорочуючись, випрямляють виріб.

Перед початком виконання ТП робоча зона повинна бути очищена від залишку флюсу та забруднень, повинен бути засипаний флюс у бункери для флюсу і заведений дріт у пристрої, що подають (7).

Заготівки балки (полиця та стінка) встановлюються на рольганг та закріплюються бічними притискними роликами (11). Зварювальник скріплює полицю і стінку прихватками.

До обох кінців балки приварюються Т-подібні вивідні планки. Балка заводиться переднім кінцем усередину зварювальної ділянки так, щоб вивідна планка знаходилася навпроти зварювальної головки, і притискається верхнім роликом притискування (5).

На вивідну планку в місця зварювання подається флюс трубками (6). Включаються електродвигуни (4) приводу подаючого механізму. Включається подача зварювального струму через контактні наконечники на дріт. Включаються системи подачі дроту (7), запалюються дуги з обох боків балки, починається процес зварювання.

Система індукційного нагрівання EFD Sinac 25/40 SM Twin (рис. 2.7) призначена для місцевого індуктивного нагрівання верхньої частини таврової балки під час зварювання.

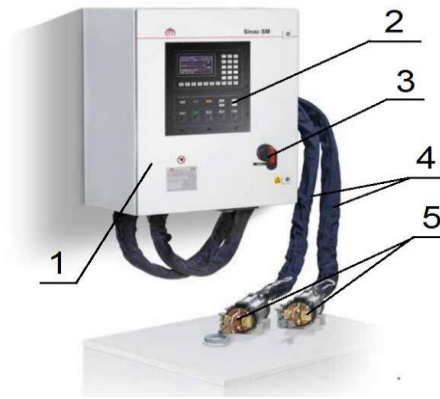


Рисунок 2.7 – Система індукційного нагрівання EFD Sinac 25/40 SM Twin:
1 – корпус із джерелом живлення; 2 – панель управління; 3 – вимикач живлення; 4 – кабелі; 5 – індукційні нагрівачі

Індукційне нагрівання для термічного виправлення балок, має ряд переваг:

1. Виріб нагрівається до потрібної температури набагато швидше. Швидкість індукційного нагрівання становить 100-250 градусів за секунду.
2. Нагрів деталей дозволяє послабити внутрішні напруги в металі та знизити їх збільшення під час зварювання.
3. За допомогою індукційного нагрівання можна обробляти деталі симетричного перерізу, так і деталі складної форми.
4. Попередній підігрів створює більш рівномірний розподіл тепла по перерізу виробу під час остигання шва. Підігрітий перед зварюванням метал остигає одночасно з остиганням шва, і усадка шва не зустрічає перешкод із боку прилеглих зон основного металу.
5. При індукційному нагріванні не утворюються сколи або окалини, а також немає слідів мастила.
6. Завдяки програмному забезпеченню, встановленому в індукційну установку, весь робочий процес може контролюватись автоматично, що дає можливість отримання більш точних результатів обробки.

Необхідна потужність індукційного нагріву обчислюється за такою формулою

$$P = k \cdot a \cdot b \cdot v \cdot g \cdot C \cdot \Delta T \quad (2.22)$$

де $k = 2,9$ – коефіцієнт, що враховує втрати у перетворювачі, втрати з'єднувальних ліній, втрати в індукторі, втрати на випромінювання, втрати на конвекцію, збільшення теплоємності від температури;

a – ширина смуги металу, що нагрівається, м;

b – ширина смуги металу, що нагрівається, м;

v – швидкість руху смуги, м/с;

g – щільність сталі, кг/м³;

C – питома теплоємність сталі, Дж/кг·град;

ΔT – необхідна температура нагріву, град.

Відомо, що найбільші зварювальні деформації присутні в середині балки і, отже, потужність індукційного нагріву, а також зусилля верхнього ролика, що притискає, повинні бути найбільшими в момент проходження середини балки через зварювальну ділянку.

Таким чином, потужність нагрівачів та зусилля ролика збільшуються від моменту проходження через зварювальну ділянку початку балки до моменту проходження через нього середини балки до максимального значення, і проходження через зварювальну ділянку протилежного кінця балки знову знижуються до початкової величини.

Для заготовок середніх і малих розмірів процес усунення залишкових напруг може бути прискорений методом «штучного старіння». При цьому заготовка поміщається в піч, нагріту до температури 500-600 ° С піч і витримується там протягом 1-6 год (для більших виливків час витримки відповідно більше).

Далі заготівля повільно охолоджується разом із піччю. При досягненні температури 200-250 ° С заготовка виймається і продовжує охолоджуватися на свіжому повітрі.

Для зняття залишкової напруги в заготовках, отриманих куванням або штампуванням застосовується термічна обробка методом відпалу або відпустки.

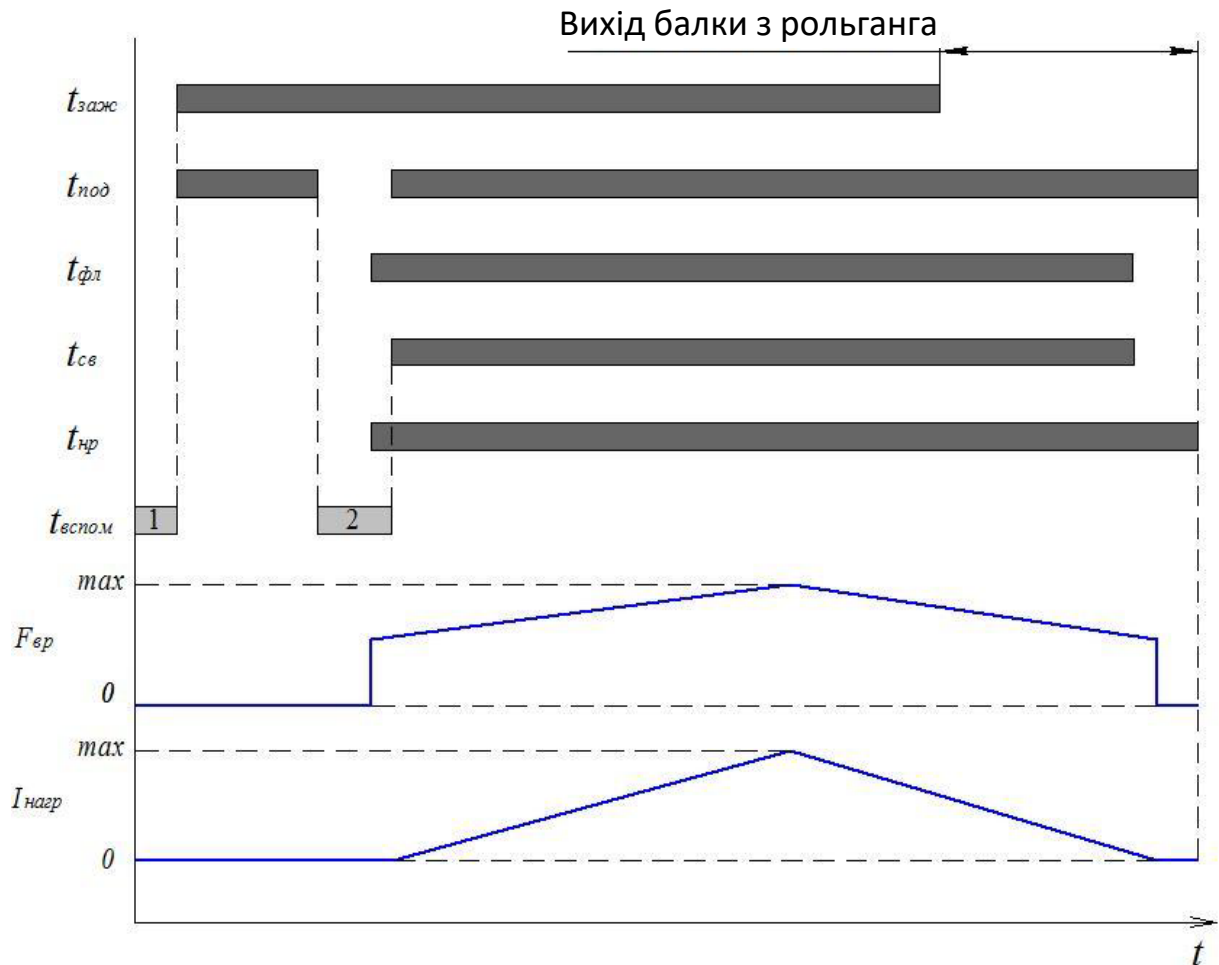


Рисунок 2.8 – Циклограма процесу зварювання та виправлення деформацій на установці Corimrex BWM-TC 1200x600:

$t_{зак}$ – час активації бічних притискних роликів;

$t_{под}$ – час подачі (руху) балки;

$t_{фл}$ – час подачі флюсу;

$t_{св}$ – час подачі зварювального струму (час зварювання);

$t_{нр}$ – час активації нижніх притискних роликів;

$t_{вспом}$ – час допоміжних операцій:

1 – час на встановлення прихваток та вивідних планок;

2 – час на насипання флюсу перед початком зварювання та затискання балки нижніми притискними роликами;

$F_{ер}$ – сила притиску верхнього притискного ролика під час роботи установки;

$I_{нагр}$ – струм індукційних нагрівачів під час роботи установки.

В обох випадках здійснюють нагрівання заготовок нижче температури фазових перетворень у матеріалі, витримку при цій температурі та подальше повільне охолодження.

Способи ослаблення залишкової напруги.

Метод холодного виправлення.

Заготівлі з прокату, як правило, відрізняються сильною нерівномірністю внутрішніх напруг: розтягують волокна поблизу поверхні і стискають в товщі матеріалу. Обробка таких заготовок призводить до значного перерозподілу внутрішньої напруги, наслідком чого може стати втрата форми готових виробів (наприклад, викривлення довгих валів після фрезерування шліцьових або шпонкових пазів). Повернути початкову форму таким деталям можна холодною правкою - деформацією, що не перевищує межі пружності та плинності.

При цьому усунення залишкових напруг не повинно призводити до виникнення нових під навантаженням від «виправляючих» сил. Вкрай небажаним наслідком редагування виявляється явище «повзучості» (самовільна зміна форми матеріалу з часом, після обробки), здатне вивести розміри деталі з початкового допуску.

Для будь-якого механізму «повзуча» деталь означає гарантовану втрату працездатності.

Тому холодне виправлення для усунення залишкових напруг не бажано застосовувати до прецизійних деталей відповідальних механізмів.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис об'єкту дослідження

Двотаврові балки більше відомі як елементи перекриттів каркасів промислових будівель, що мають великі прольоти. Їх використовують також при зведенні мостів та інших підвісних шляхів, колон тощо у всіх тих місцях, де присутні підвищені навантаження і їм необхідно протистояти.

Вони сприймають навантаження від вертикального поперечного впливу, яке одночасно відбивається на стінах, колонах та інших опорах. Працюють в особливо важких умовах або піддаються безпосередньому впливу динамічних, вібраційних або рухомих навантажень (підкранові балки, балки робочих майданчиків, елементи конструкцій бункерних та розвантажувальних естакад, що безпосередньо сприймають навантаження рухомих складів).

У нашому випадку виріб використовується як підкранова балка мостового крана, рис. 3.1.

Зазнає підвищених динамічних навантажень, до неї пред'являються вимоги підвищеної міцності та корозійної стійкості з обмеженням маси.

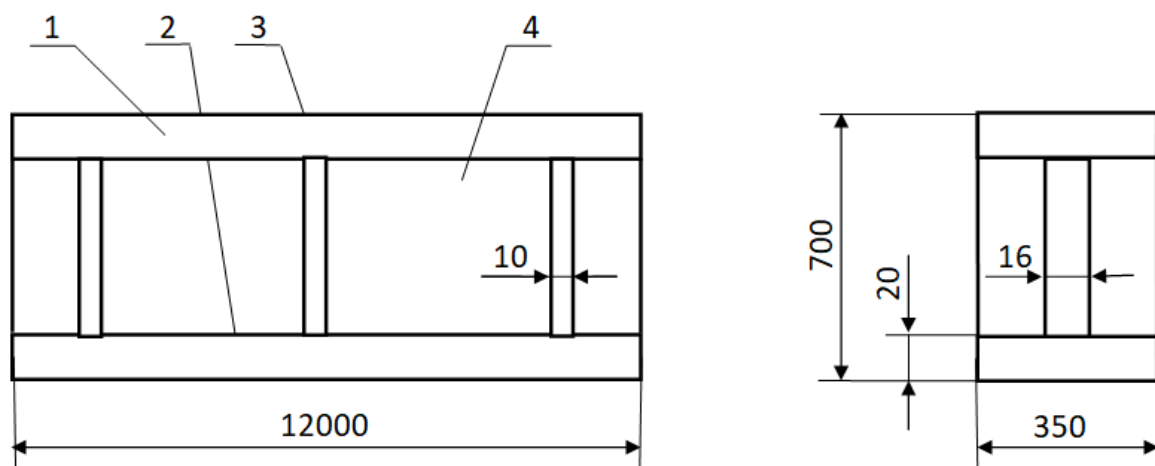


Рисунок 3.1 – Балка двотаврова: 1, 2 – полиця, 3 – ребро, 4 – стінка

Технічні умови на виготовлення певного типу конструкцій містять перелік вимог, які слід пред'являти до матеріалів, обладнання та виконання технологічних операцій на різних етапах виготовлення конструкції.

Вимоги до матеріалів.

Відповідність усіх зварювальних матеріалів вимогам стандартів має підтверджуватись сертифікатом заводів-постачальників, а за відсутності сертифікату – даними випробувань лабораторій заводу.

Зварювальний дріт не повинен мати іржі, олії та інших забруднень.

На робоче місце зварювальника флюс і електроди повинні подаватися тільки в просушеному або прожареному стані в кількості, яка необхідна для роботи в одній зміні.

Вимоги до заготівельних операцій.

Редагування деталей у гарячому стані виконувати в діапазоні температур від 800 °С до 1000 °С. Різання на ножицях за негативних температур повітря не допускається. Кисневе різання при негативній температурі повітря повинно здійснюватися з підігрівом металу в зоні різання до 100 °С.

Поздовжні кромки нижнього пояса балки після кисневого різання або різання на ножицях повинні піддаватися механічній обробці на глибину не менше 2 мм.

Вимоги до збирання.

Застосування при складанні елементів балки прихваток у місцях, де не передбачено подальше накладання швів, не допустимо.

Всі місцеві уступи і нерівності на деталях, що збираються, що перешкоджають їх щільному прилягання, необхідно усунути наплавкою або зачисткою.

Кромки та поверхні деталей у місцях розташування зварних швів на ширину 25-30 мм повинні бути очищені від іржі, олії та інших забруднень безпосередньо перед збиранням під зварювання.

Деталі з тріщинами та надривами, що утворилися під час виготовлення, до збирання під зварювання не допускаються.

Переріз прихваток допускається розміром до половини перерізу зварного шва. Прихватки повинні ставитися у місцях розташування зварних швів. Накладені прихватки мають бути очищені від шлаку.

Прихватка елементів зварних конструкцій при складанні повинна виконуватися з використанням тих же присадних матеріалів та вимог, що й під час виконання зварних швів.

Вимоги до зварювання.

До зварювання відповідальних складальних одиниць повинні допускатися лише атестовані зварювальники, які мають посвідчення, що встановлює їхню кваліфікацію та характер роботи, до якої вони допущені.

Виготовлення сталевих зварних конструкцій повинно проводитися відповідно до креслень і розроблених на їх основі техпроцесом збирання та зварювання.

Запалювати дугу та виводити кратер на основний метал конструкції за межі шва забороняється.

Вимоги до точності наведено в табл. 3.1.

Задавшись річною програмою випуску 500 шт, визначимо тип виробництва як серійне.

Робочі місця при серійному виробництві оснащують спеціалізованими пристроями, застосування яких дозволяє збільшити продуктивність праці та підвищити якість продукції.

У серійному виробництві заготівлі зазвичай виготовляють точніше, тому обсяг робіт пригону мінімальний.

При проектуванні технологічного процесу, виборі та конструюванні зварювального пристрою, як правило, виникає необхідність аналізу технологічності зварних конструкцій, а часто і їх зміни.

Особлива увага при цьому має бути звернена на конфігурацію деталей, що входять у складальну одиницю, точність виготовлення заготовок та стан їх поверхонь.

Конфігурація деталей повинна забезпечувати їх легке встановлення при складанні та зніманні виробу, доступність до місць прихватки, зварювання або наплавлення.

Технологічні зварні конструкції дозволяють застосовувати простіші та дешевші пристосування для їх виготовлення.

Таблиця 3.1 – Вимоги до точності виготовлення балки

Стріла вигину осі	До 0,001 довжини балки, але не більше 10 мм
Перекіс полиці щодо стінки та грибоподібність: а) у місцях сполучення з іншими елементами та на опорах	До 0,005 В, але не більше 1 мм (де В – ширина полиці)
б) у місцях примикання ребер жорсткості до поясів балок та інших місцях	До 0,01 В
Гвинтовість елементів	До 1 мм на довжині 1м, але не більше 10 мм
Відхилення осі стінки від осі полиці	До 2 мм
Випирання стінки балок з вертикальними ребрами	До 0,006 висоти стінки
Випирання стінки балок без вертикальних ребер	До 0,003 висоти стінки
Відхилення по довжині балок цільнозварних прогонових будов	Від 0 до – 4 мм
Відхилення ширини поясних елементів: а) у зоні вузлів та стиків	Від 0 до -2 мм
б) на інших ділянках	+ 4 мм
Відхилення висоти балок: а) у зоні вузлів та стиків	+ 2 мм
б) поза зоною стиків та вузлів	+ 4 мм

Конструкція обробки забезпечує необхідну точність при складанні, достатню простоту і легкість зварювання. Для установки в зручне для зварювання положення використовують складально-зварювальне пристосування типу кантувача. Важливим показником технологічності виробу є зварюваність матеріалу. Зварюваність, це здатність металу утворювати при встановленій технології зварювання зварне з'єднання, метал шва якого мав би механічні властивості, близькі до основного металу.

3.2 Розрахунок основних параметрів режиму зварювання

Сталь 08X18H10T – високолегована корозійностійка сталь.

Містить 0,08% вуглецю, 18% хрому, 10% нікелю, менше 1% титану.

Для даної марки сталі слід використовувати:

- зварювальний дріт Св-06Х19Н10М3Т;
- флюс АНФ-1.

Глибина провару для одностороннього стикового шва

$$h = 0.6 \cdot H = 0.6 \cdot 11 = 6.6 \text{ (мм)}, \quad (3.1)$$

де $H = 11$ мм – товщина заготовок, що зварюються.

Висота зони перекриття

$$h_n = 0.6 \cdot H = 0.6 \cdot 11 = 2 \cdot 6.6 - 11 = 1.6 \text{ (мм)}. \quad (3.2)$$

Сила зварювального струму

$$I_{зв} = \frac{100 \cdot h}{K_{проп}} = \frac{100 \cdot 6.6}{1.2} = 550 \text{ А} \quad (3.3)$$

де $h = 6.6$ мм – глибина провару;

$K_{проп} = 1.2$ – коефіцієнт пропорційності.

Підбір діаметра зварювального дроту, при $d = 2$ мм, $d = 3$ мм, $d = 4$ мм, $d = 5$ мм виконаємо згідно з формулою (3.3):

$$I = \frac{4 \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 550}{3.14 \cdot 2^2} = 175 \text{ (А)}; \quad (3.4)$$

$$I = \frac{4 \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 550}{3.14 \cdot 3^2} = 78 \text{ (А)}; \quad (3.5)$$

$$I = \frac{4 \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 550}{3.14 \cdot 4^2} = 44 \text{ (А)}; \quad (3.6)$$

$$I = \frac{4 \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 550}{3.14 \cdot 5^2} = 28 \text{ (А)}. \quad (3.7)$$

Отже, для зварювання можна використовувати зварювальний дріт діаметром $d = 3$ мм або $d = 4$ мм (відповідно до діючих рекомендацій).

Робоча напруга дуги

$$U_o = 20 + 0.04 \cdot I_{3\phi} = 20 + 0.04 \cdot 550 = 44 \text{ (В)}. \quad (3.7)$$

Ширина шва

$$b = \psi_{np} \cdot h = 3.9 \cdot 6.6 = 25.74 \text{ (мм)}, \quad (3.8)$$

де $\psi_{np} = 3,9$ – коефіцієнт форми провару.

Висота посилення

$$c = \frac{b}{\psi_{\epsilon}} = \frac{25.74}{8} = 3.2 \text{ (мм)}, \quad (3.9)$$

де $\psi_{\epsilon} = 8$ – коефіцієнт форми валика.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу

$$S_H = 0.75 \cdot b \cdot c = 0.75 \cdot 25.74 \cdot 3.2 = 61.776 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (3.10)$$

Швидкість зварювання

$$V_{3\phi} = \frac{K_n \cdot I_{3\phi}}{\rho \cdot S_H} = \frac{16.2 \cdot 550}{7.8 \cdot 61.776} = 18.48 \text{ (м/год)}, \quad (3.11)$$

де $\rho = 7.8 \text{ г/см}^3$ – густина зварювального дроту.

Розрахункова швидкість подачі дроту

$$V_n = \frac{4 \cdot K_p \cdot I_{3\phi}}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 1.02 \cdot 550}{3.14 \cdot 4^2 \cdot 7.8} = 90.94 \text{ (м/год)}, \quad (3.12)$$

де $K_p = 1,02$ – коефіцієнт розплавлення.

Основний технологічний час зварювання

$$T_{oc} = \frac{2 \cdot L}{1000 \cdot V_{3\phi}} = \frac{2 \cdot 6800}{1000 \cdot 18.48} = 0.736 \text{ (год)}, \quad (3.13)$$

де $L = 6800 \text{ мм}$ – загальна довжина односторонніх зварних швів.

Визначення маси наплавленого металу

$$m_H = K_H \cdot T_{ocn} \cdot I_{3\phi} = 16.2 \cdot 0.736 \cdot 550 = 6558 \text{ (г)} = 6,558 \text{ (кг)}. \quad (3.13)$$

Витрата зварювального дроту

$$m_{np} = K_p \cdot T_{осн} \cdot I_{зв} = 1.02 \cdot 0.736 \cdot 550 = 4128 \text{ г} = 4,128 \text{ (кг)}. \quad (3.14)$$

Визначення витрати флюсу

$$m_{фл} = 0.2 \cdot m_{np} = 0.2 \cdot 4.128 = 0.8256 \text{ (кг)}. \quad (3.15)$$

Ескіз поперечного перерізу зварного з'єднання наведено на рис. 3.2.

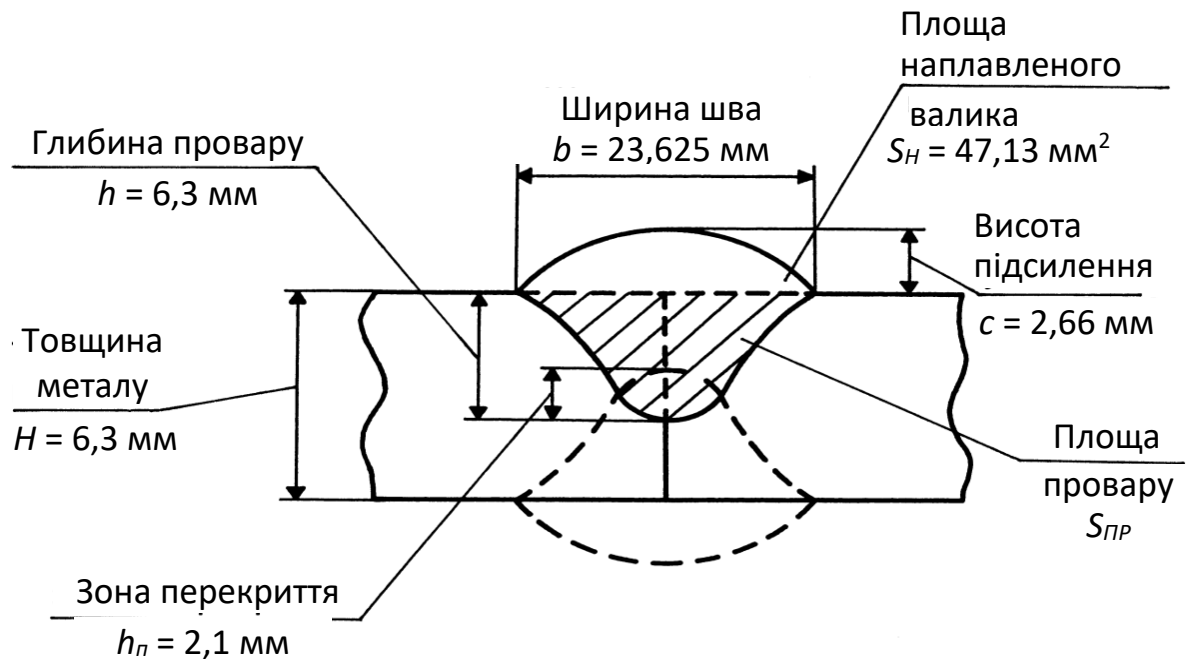


Рисунок 3.2 – Ескіз поперечного перерізу зварного з'єднання

Таблиця 3.2 – Основні параметри режиму зварювання

Назва величини	Чисельне значення
Глибина провару	6.6 мм
Сила зварювального струму	500 А
Діаметр дроту	3 мм
Робоча напруга дуги	44 В
Коефіцієнт форми провару	3,9
Ширина шва	25,74 мм
Висота валика	3,2 мм
Коефіцієнт форми валика	8
Площа поперечного перерізу наплавленого металу шва	61,77 мм²
Розрахункова швидкість зварювання	18,48 м/год
Розрахункова швидкість подачі дроту	90,94 м/год
Основний час зварювання	0,74 год
Маса наплавленого металу	6,55 кг

4 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Вибір технологічного процесу отримання заготовки для зварювання

Вибір методів отримання заготовки має на меті встановлення раціональних способів та послідовності робочих операцій з виготовлення деталей, що входять до заданої зварної конструкції. Від ступеня досконалості методів отримання заготовок та деталей значною мірою залежить витрата металу, кількість операцій та їх трудомісткість, собівартість процесу виготовлення деталей та виробу загалом.

На вибір способу отримання заготовок та деталей виробу в цілому впливають такі фактори: марка матеріалу, його фізико-механічні властивості, розміри та конструктивні форми деталей, тип виробництва та обсяг випуску продукції, характер обладнання, що застосовується.

Весь прокат, що надходить у заготівельне виробництво, проходить ряд операцій: розмітка, різання, зачищення, редагування, підготовка кромek, очищення.

Розмітка.

Перш ніж підступити до виконання робочих операцій, що змінюють форму та обрис вихідного матеріалу, в більшості випадків необхідно цей метал розмітити. Розмітка являє собою нанесення на метал конфігурації деталей, що виготовляються, в натуральну величину. Основною метою цієї операції служить забезпечення точних, відповідно до креслень, розмірів деталей, що вирізуються з металу. Як устаткування використовуються розмічальні плити та столи. Засобами для розмітки служать різноманітні мірювальні та креслярські інструменти.

Різання.

У більшості випадків безпосередньо після розмітки чи намітки іде робоча операція різання металу. Найбільш універсальним і широко поширеним способом різання сталей, що не загартовуються, є газополум'яне різання.

Рентабельність застосування цього способу різання обмежується мінімальною товщиною металу, що підлягає різанню і рівна 6 мм. Зі збільшенням товщини металу, що розрізається, економічні та технічні переваги кисневого різання в порівнянні з механічною різкою підвищуються, і при товщині металу більше 25 мм ці переваги кисневого різання у всіх випадках стають безперечними. Газополум'яна вирізка деталей може виконуватися вручну різаками, на газополум'яних машинах або сучасними способами. Порівняння експлуатаційних характеристик автоматичного, напівавтоматичного та ручного кисневого різання, в основному, призводять до наступних даних:

- швидкість напівавтоматичного та автоматичного різання вище, ніж ручне;
- чистота різу підвищується зі збільшенням автоматизації процесу різання та за рахунок використання нових технологій.

В цьому випадку можна відразу проводити чисте оброблення кромek деталей під зварювання.

Зачищення.

Для видалення з поверхні кромek окалини та шлаків, одержуваних після вирізки деталей газовим полум'ям, кромки зачищають. Цю операцію здебільшого виконують наждачними колами. Для цього використовують шліфувальні машини

Виправлення деталей та заготовок.

Випрямлення деталей і заготовок з листового чи широкосмугового матеріалу, викривлених у процесі вирізки їх газовим полум'ям виробляють на листопрямильних вальцях.

Підготовка кромek.

Таврові з'єднання бувають без підготовки кромek і з підготовкою кромek (тобто з розбиранням або, інакше, з притупленням кромek). У з'єднаннях без підготовки кромek можливий непроварення кореня шва. Тому такі з'єднання погано працюють при змінних і ударних навантаженнях.

Односторонній та двосторонній скоси кромок забезпечують повний провар елементів, що з'єднуються. Ці з'єднання мають хорошу міцність при будь-яких навантаженнях.

Ширину поверхні, що зачищається, з'єднуються деталей визначають відповідно до рис. 4.1.

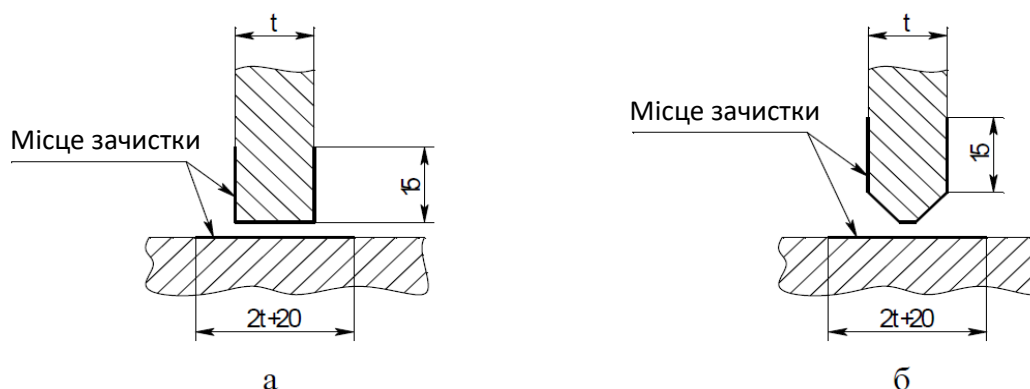


Рисунок 4.1 – Схема зачистки кромки деталей, що стикуються: а – без скосу кромки; б – зі скосом кромки

Краї деталей повинні бути оброблені в номінальний розмір з урахуванням зазорів під зварювання. Вільні кромки деталей повинні бути заокруглені на радіус не менше 2 мм. Внутрішня і зовнішня поверхня, а також кромки деталей, що зварюються безпосередньо перед складанням, повинні бути зачищені від вологи, фарби, масла, іржі, окалини і спеціальних покриттів до чистого металу.

Допускається не виконувати зачистку кромки і поверхонь у разі відсутності на них забруднення або коли на них нанесені ґрунти, що дозволяють проводити зварювання без їх видалення.

Очищення. Деталі, що з'єднуються за допомогою зварювання плавленням, у ряді випадків вимагають очищення від окалини або оксидів.

Ця підготовча операція може бути виконана одним із способів:

- газопламенною обробкою;
- піскоструминними або дробоструминними апаратами;
- переносними наждачними колами.

Складальні операції здійснюються з метою забезпечення правильного взаємного розташування деталей вузла, що збирається під зварювання.

Фіксують зібрані деталі за допомогою прихваток – коротких уривчастих швів, що служать для попереднього з'єднання деталей, що підлягають зварюванню. Зібраний на прихватках вузол повинен мати необхідну жорсткість і міцність, що дозволяє його транспортувати до місця зварювання і кантувати для позиціонування в зручне для зварювання положення. Прихватки також зменшують тимчасові зварювальні деформації, які можуть викликати спотворення геометричної форми виробу (вигин, короблення тощо). Виконуються прихватки ручним дуговим зварюванням або механізованим (напівавтоматичним) дуговим зварюванням у вуглекислому газі. При складанні застосовується складальне оснащення - пристосування та допоміжні пристрої для виконання складальних робіт (стелажі, складальні плити, універсальне збірно-розбірне зварювальне оснащення, спеціалізовані пристрої).

Застосовують чотири основні способи збирання зварних двотаврових балок:

- по розмітці із застосуванням найпростіших універсальних пристроїв,
- на універсальних плитах з пазами, забезпеченими упорами, фіксаторами та різними затискачами;
- в кондукторі з гвинтовим або пневматичним притискним пристроєм
- за допомогою складальних порталів.

Спосіб складання двотаврових елементів за розміткою застосовують у разі, коли збирають балки з невеликої кількості однакових елементів. Складання по розмітці малопродуктивне і застосовується тільки в індивідуальному виробництві. При цьому виріб збирають наступними двома способами: на плиті за допомогою клинів та на напрямних за допомогою скоб.

На універсальних плитах збирання ведуть у тому випадку, коли в проекті задані однотипні за габаритами зварні конструкції.

Спосіб складання двотаврових балок у кондукторах з гвинтовими або пневматичними притискними пристроями доцільно застосовувати при великих партіях однакових елементів, оскільки налаштування кондуктора потребує значних витрат часу.

Вони забезпечують необхідне розташування деталей, що входять у вузол, і точність складання вузла, що виготовляється, відповідно до вимог креслення технічних умов на складання.

Крім того, складальні пристрої забезпечують скорочення тривалості складання та підвищення продуктивності праці, полегшення умов праці, підвищення точності робіт та покращення якості готової зварної конструкції.

Деталі, що збираються під зварювання, кріпляться в пристосуваннях і на стендах за допомогою різного виду гвинтових, важільних, пневматичних та інших затискачів, також електродуговим зварюванням прихватками.

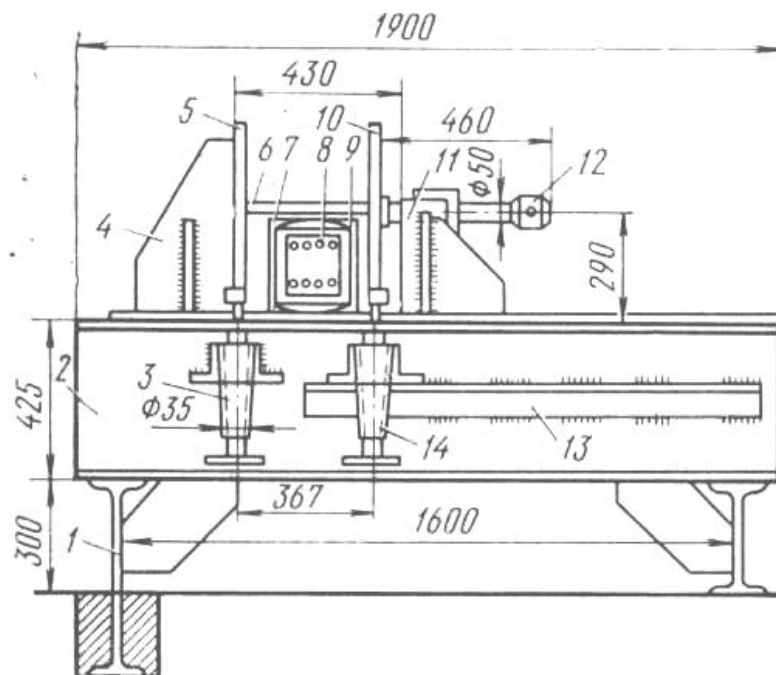


Рисунок 4.2 – Гвинтовий кондуктор для складання зварних двотаврових балок: 1 – рама; 2 – поперечна балка рами; 3, 14 – гвинти; 4, 11 – нерухомий і рухомий упори; 5, 10 – полиці двотавра, що збирається; 6 – стінка збираного двотавра; 7, 9 – елементи опори під стінку двотавра; 12 – гвинт рухомого упору; 13 – напрямний куточок рухомого упору

Гвинтовий кондуктор для збирання стрижнів Н-подібного перерізу складається з рами 1, звареної зі швелерів та балок, встановленої на підлозі цеху. У конструкцію рами входять поперечні двотаврові балки 2, верхні полиці яких знаходяться в одній горизонтальній площині. На цих балках змонтовано два ряди упорів: один ряд упорів 4 розташований у краю балок і закріплений

нерухомо, упори другого ряду 11 мають притискні гвинти 12 і можуть переміщатися по рамі в поперечному напрямку. Упори є зварними стійками, робочі кромки яких простругані під прямим кутом до площин опорних плит. Між упорами 4 і 11 вертикально встановлені полицями всередину два швелери 7 і 9, з'єднані між собою діафрагмами 8. Переміщенням швелера 9 упоперек рами може змінюватися відстань між швелерами в залежності від розміру елемента, що збирається.

Уздовж кондуктора в нижній частині є вертикальні гвинти 3 і 14. Гвинти 3, розміщені поблизу нерухомих упорів, прикріплені до поперечної балки нероз'ємно. Гвинти 14 можуть переміщатися впоперек кондуктора по куточку 13. Вони завжди встановлюються поблизу рухомих упорів.

Як видно з малюнка, швелери 7 і 9 служать для укладання стінки елемента, що збирається; гвинти 3 і 13 - для підтримки полиць; нерухомі та рухливі упори - для щільного стягування елемента та для забезпечення прямого кута між стінкою та полицями.

До початку збирання чергової партії елементів, що відрізняються за розмірами від попередніх збирань, збирачі налаштовують кондуктор. Налаштування полягає в наступному: рухомі упори, звільнені від болтів, що кріплять їх до рами кондуктора, переміщують упоперек кондуктора в положення, при якому відстань від вертикальної кромки нерухомого упору до опорної поверхні притискних гвинтів було б на 50-75 мм більше висоти перерізу елемента у цьому положенні упори закріплюють болтами; потім повертанням маховичків встановлюють вертикальні гвинти так, щоб відстань їх опорної поверхні до верхньої площини полиць швелерів дорівнювало половині ширини полиці елемента, що збирається, зменшеної на половину товщини вертикальної стінки.

На налаштування кондуктора витрачається до години роботи двох збирачів. Використання кондуктора особливо ефективне при великій партії однакових елементів, оскільки часте переналаштування його на складання елементів різного розміру пов'язане з непродуктивною витратою часу.

Приступаючи безпосередньо до складання, збирачі спочатку укладають у кондуктор стінку елемента 6, а потім у зазори між поздовжніми кромками стінки і стійками кондуктора заводять полиці 5 і 10. Гвинтами 12 листи злегка притискаються до нерухомих упорів 4. Перш ніж остаточно стягнути перетин, 5, 6, 10 з одного кінця елемента, після чого зібрані листи елемента щільно стискаються гвинтами кондуктора.

Складачі перевіряють, чи всією поверхнею прилягає вертикальна стінка елемента до полиць швелерів і чи витриманий прямий кут між стінкою та полицями. Якщо є опуклості горизонтального листа, то в цих місцях він притискається до швелера.

Складання та зварювання таврових балок слід виконувати на спеціально відведених для цього ділянках відповідно до схеми, що розробляється на заданий період часу.

Деталі, що надходять на складання з'єднань для наступного зварювання, повинні бути заґрунтовані, виправлені, замарковані та прийняті службою технічного контролю і повинні мати як мінімум таке маркування: номер замовлення, номер секції (номер креслення, якщо деталь не складається в жодній із секцій), номер деталі згідно специфікації до креслення. Деталі, що надійшли на складання з припуском, повинні мати відповідне маркування, що вказує на величину припуску.

Підтискання листа роблять клином, що забивається в зазор між стінкою і тимчасовим куточком, що спеціально приварюється до полиці елемента. Для цього може бути також використаний стяжний хомут.

Щоб у процесі накладання перших односторонніх електрозварювальних швів і при подальшому транспортуванні елемента не змінилося взаємне положення листів, в кінці елемента збирачі ставлять тимчасові планки.

Підручний збирача ставить електроприхватки вздовж обох кромek стінки, після чого бригадир, перевіривши кількість і якість прихваток, за відсутності зауважень разом із підручним відгвинчують гвинти, зачіпають стропами елемент, виймають його з кондуктора і укладають поблизу на вільне місце.

Виробничий майстер оглядає партію зібраних елементів та відправляє їх на автоматичне зварювання. При збиранні двотаврових стрижнів у кондукторі є доступ для постановки електроприхваток тільки з одного боку стінки, тому слід стежити, щоб електроприхватки були досить міцними.

При зварюванні автоматично треба заварювати шви в першу чергу на стороні, що не має прихваток. У модернізованих установках гвинтові притиски замінені на пневматичні.

Зі складальних стелажів балки знімають і транспортують ланцюгами або канатами з гаками відповідної вантажопідйомності.

Складання балки двотаврової істотно залежить від швидкої дії та надійності механізму затискання елементів. Закріплення та звільнення елементів балки по всій довжині за допомогою гвинтів займає багато часу.

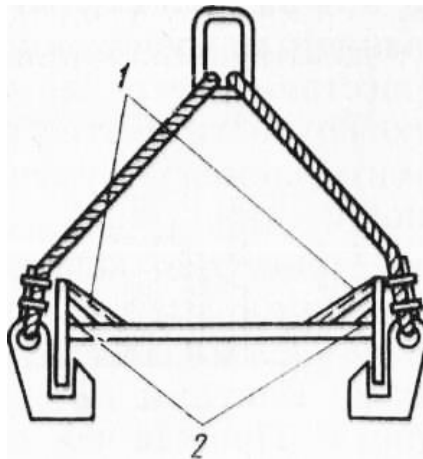


Рисунок 4.4 – Пристрій для транспортування зібраних балок

Значно продуктивніше та зручніше в роботі пристосування, оснащені пневматичними затискачами з живленням від заводської мережі стисненого повітря. В цьому випадку затискання та звільнення балки здійснюється перемиканням крана подачі повітря, рис.4.5.

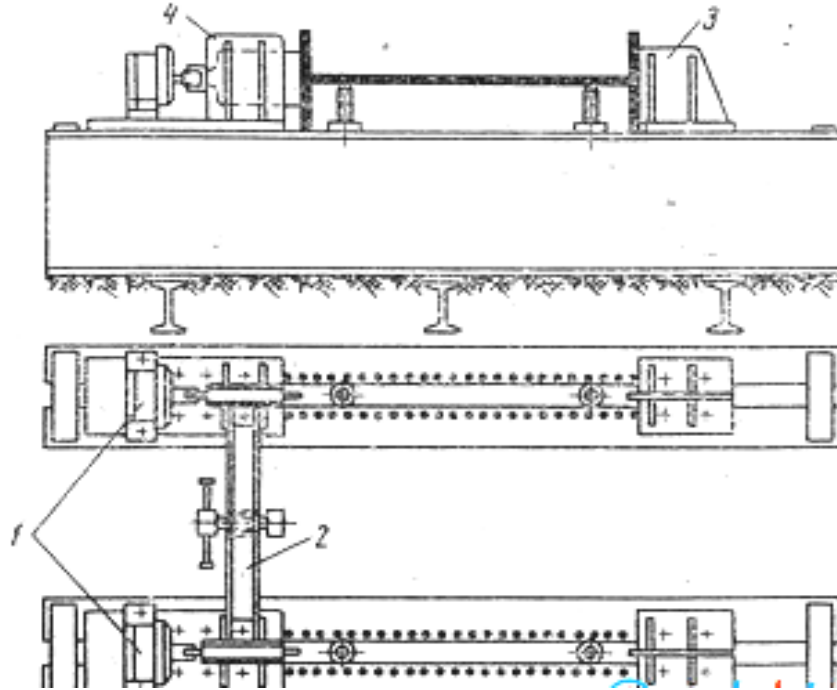


Рисунок 4.5 – Будова складального кондуктора з пневматичними притисками: 1 – пневматичні циліндри; 2 – переносна траверса; 3 – нерухомий упор; 4 – напрямні рухомого упору

Зараз більшого поширення набули зварювальні портали з переміщення балки по вхідному та вихідному рольгангам щодо порталу.

Для складання двотаврової балки використовуємо порталну складальну установку з пневматичними притисками та з пересуванням балки по рольгангам. Закріплення стінки щодо полиці таврової балки при використанні лінії виготовлення таврових балок BWM-TC 1200x600 необхідно виконувати за допомогою прихватки відповідно до стандартів.

Прихватки виконуються з центру таврової балки. Прихватки повинні захищатися від шлаку, металевих бризок та перевірятись зовнішнім оглядом. Неякісно виконані прихватки, а також прихватки з тріщинами підлягають видаленню. Для таврових з'єднань з одностороннім швом прихватки повинні бути розташовані з боку, не підлягає зварюванню.

Зазори під зварювання, при виконанні складання таврових балок, витримувати за допомогою технологічних закладних планок, товщина яких повинна дорівнювати номінальному значенню зазору під зварювання, ширина 20 - 30 мм.

Видалення тимчасових кріплень для конструкцій з низьколегованих і вуглецевих сталей повинно виконуватися за допомогою газового різання і повітряно-дугової стружки, з залишенням «гребінців» заввишки не більше 3 мм з подальшим їх зачищенням механічним способом урівнення з основним металом. При цьому величина урівнення основного металу не повинна перевищувати наступних значень:

- для товщини від 8 мм до 15 мм – 0,5 мм;
- для товщини від 15 мм до 25 мм – 0,6 мм.

Зібрані балки повинні бути представлені для контролю.

Зварювання таврових балок необхідно виконувати відповідно до специфікацій процесу зварювання, розроблених на даний спосіб зварювання.

У документі мають бути зазначені:

- конструктивні елементи підготовлених кромок та їх розміри;
- геометричні параметри зварного шва;
- марка матеріалу, що зварюється;
- марка присадного матеріалу;
- допустимий діапазон режимів зварювання;
- вимоги щодо підготовки зварювальних матеріалів;
- вимоги до температури навколишнього середовища та температури попереднього підігріву;
- марка електродів, що застосовується для прихваток;

Початок та кінець шва довжиною 50 мм слід виводити на вивідні планки розміром 100x100 мм, що встановлюються перед зварюванням таврової балки.

Товщина вивідних планок повинна дорівнювати товщині деталей, що зварюються з'єднання. Допускається застосування планок меншої товщини з'єднань товщиною понад 20мм виконуваних двостороннім швом.

Для забезпечення безперервного притиску стінки верхнім роликом установки CORIMPEX BWM-TC 1200x600 при зварюванні балок, стінки яких мають вирізи для проходів перехресного набору, поверх стінки встановлюють ребро (смугу) з металу завтовшки, що дорівнює товщині стінки і висотою не менше ніж 100 мм. Фіксацію смуги до стінки виконувати прихватками або з використанням напрямних згідно з рис. 4.6.

Зварювання всіх блоків слід виконувати одночасно по всій довжині балки без перерв у роботі до заповнення обробки або повного перерізу шва. Накладання валиків у межах одного блоку слід проводити "на прохід". Допускається переривати зварювання після заповнення не менше двох третин перерізу деталей, що зварюються.

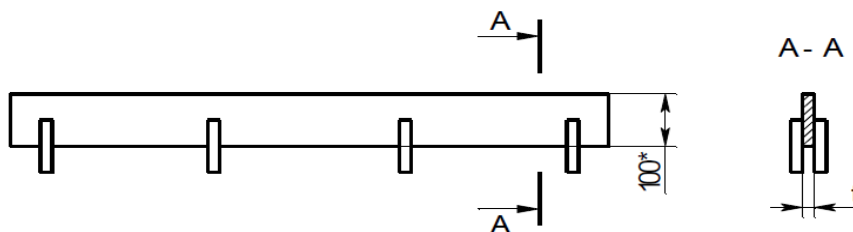


Рисунок 4.6 – Допоміжне ребро для притискного ролика

Допускається зварювання корневих проходів двостороннього шва на круглих керамічні підкладки без подальшого розчищення кореня шва.

4.2 Вибір автоматичної лінії зварювання балок

Основними складнощами при зварюванні даних сталей є висока схильність МШ та ЗТВ до ХТ, підвищена схильність до ГТ через багатокомпонентного легування, можливість утворення «підваликових» кристалізаційних тріщин при багатшаровому зварюванні аустенітним електродним металом та тріщин у вигляді «відколів» в ЗШЗ при зварюванні, а також отримання механічних властивостей зварних швів та ЗТВ на рівні основного металу.

Основні фактори, що впливають на утворення холодних тріщин при зварюванні високоміцних сталей.

Сучасне уявлення про природу та механізм утворення холодних тріщин виявляє три основні фактори, що впливають на тріщиностійкість зварного з'єднання – структурно-фазовий склад МШ та ЗТВ (мартенситне перетворення), водень (воднева крихкість) та внутрішні напруги (I, II роду та пікові мікронапруги).

Гартувальна гіпотеза передбачає, що при зварюванні, так само як і при загартування, утворення тріщин обумовлено головним чином мартенситним перетворенням, яке протікає зі значною зміною обсягу та призводить до виникнення високих внутрішніх напружень першого та другого пологів та одночасно до зниження здатності металу сприймати пластичну деформацію.

Друга, так звана воднева, гіпотеза полягає в тому, що головною причиною утворення тріщин у навколо-шовній зоні, що гартуються сталей є насичення цієї зони воднем шляхом дифузії його з метал шва.

Для доказу використовується той загальновідомий факт, що заміна ферито-перлітних електродів аустенітними виключає появу відколів.

Згідно з водневою гіпотезою, відсутність відколів при зварюванні аустенітними електродами зумовлено тим, що в аустенітному металі розчинність водню значно більша, ніж у ферито-автоматичному дуговому зварюванні під шаром флюсу на спеціалізованій лінії з виготовлення таврових балок CORIMPEX BWM-TC 1200x600.

Дане обладнання дозволяється використовувати для таврових балок довжиною від 1500 до 12000 мм, висотою стінки від 350 до 1200 мм при ширині 2 до 700 мм, при товщині стінки від 8 до 40 мм.

Катет шва не повинен перевищувати 0,7 товщини стінки балки змінного перерізу.

Можливість виготовлення таврових балок із катетом, що перевищує 0,7 товщини, є предметом розгляду відділом головного зварювальника для кожного окремого випадку.

Автоматична лінія зварювання балок під шаром флюсу Corimprex BWM-TC 1200×600, рис. 4.7 – 4.10. Вона дозволяє зварювати в автоматичному режимі таврові та двотаврові балки постійного та змінного профілю довжиною від 1500 до 12000 мм, з висотою стінки від 350 до 1200 мм при її товщині від 8 до 25 мм, та шириною полиці від 120 до 600 мм при товщині до 40 мм.

Зварювальні машини для зварювання балок BWM/1500-700 TC 6-14 «CORIMPREX» (Італія) – призначені для виготовлення зварної балки як постійного, так і змінного перерізу. Зварювання стінок і поясів балок проводиться в кут під шаром флюсу двома автоматичними пальниками.

Балки, що виготовляються, мають наступні характеристики:

- висота стінки від 200 до 1500 мм;
- товщина стінки від 5 до 30 мм;
- ширина полиці від 150 до 700 мм;
- товщина полиці від 6 до 50 мм;
- довжина балки на вимогу Замовника;
- виправлення грибоподібності до 28 мм;
- максимальна вага балки 800 кг/м.

Технічні характеристики обладнання:

- максимальний хід головного циліндра 1300 мм;
- максимальне зусилля головного циліндра 9 тонн;
- швидкість переміщення балки по рольгангах 12 м / хв;
- швидкість зварювання від 0,15 до 2,1 м/хв;
- тип балок, що зварюються: Н, І, Т, L, «зірка», коробчата;
- зварювання під флюсом SingleArc, TwinArc, TandemArc.

Лінія забезпечена рольгангом з пневматичними притискачами, що дозволяють автоматично позиціонувати заготовки перед зварюванням, а також кантувачем для розвантаження готових виробів. Однак головною особливістю даної моделі, що представляє найбільший інтерес, є наявність оснастки для виправлення залишкових деформацій балок безпосередньо в процесі зварювання.

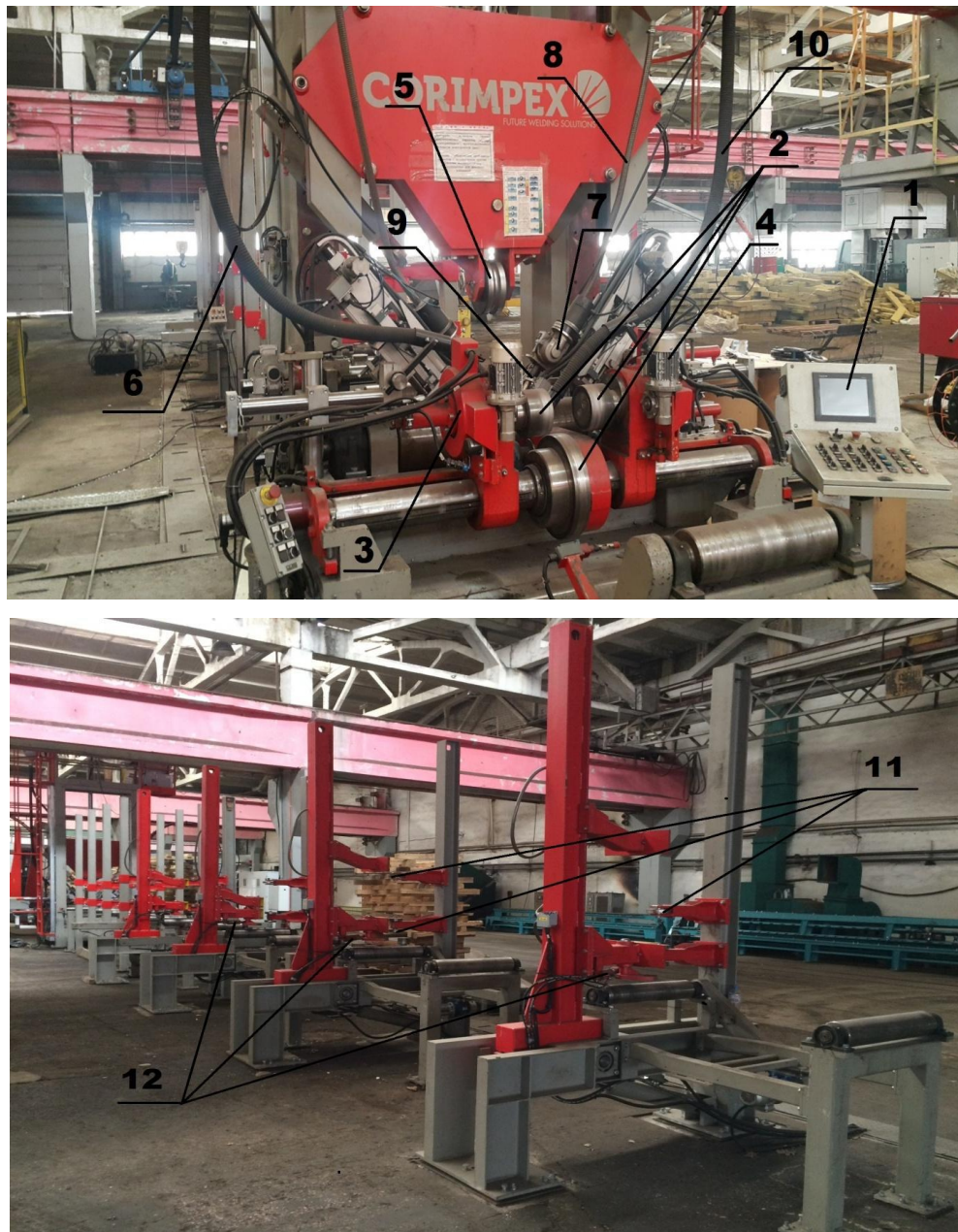


Рисунок 4.7 – Зварювальна ділянка установки Corimpex BWM 1200x600:

1 – пульт управління; 2 – нижні притискні ролики; 3 – ексцентриковий затискач; 4 – електродвигун; 5 – верхній притискний ролик; 6 – трубка подачі флюсу; 7 – система подачі дроту; 8 – трубка подачі дроту; 9 – зварювальна головка; 10 – трубка відсмоктування невикористаного флюсу; 11 – бічні притискні ролики; 12 – пневмоциліндри; 13 – опорно-подаючі ролики

Дана оснастка включає систему індукційних нагрівачів EFD Sinac 25/40 SM Twin і притискний ролик змінного зусилля (для балок змінного профілю або балок з вирізами встановлюється група з декількох роликів).



Рисунок 4.8 – Автоматична лінія

Склад лінії:

- A1 - машина для зварювання Т-подібної балки;
- система центрування стінки щодо полиці – 1 шт.
- B1 - Джерело струму Lincoln Electric та дод. обладнання для зварювання розщепленою дугою Twin Arc – 2 шт.
- C1 - Роганг, що подає - 1 шт.
- C2 – Система центрування/вирівнювання полиці та стінки, включаючи гідравлічні лещата та магнітні затискачі – 1 шт.
- D1 - приймаючий рольганг – 1 шт.
- E1 - гідравлічні кантувачі на приймальному рольгангу - 3 шт.
- F1 – панель управління
- G1 - платформа, що обертається, для бочок з дротом - 4 шт.

Регулюючи силу притиску ролика (групи роликів) у міру проходження балки через зварювальну ділянку лінії та нагріваючи її в необхідних місцях, можна домогтися зниження деформації балки після закінчення зварювального процесу до нуля або до величини, що не перевищує допустимих норм.

Балка, яка виходить із установки точкового зварювання, знаходиться у вертикальному положенні. Вона переміщається конвеєром у такому положенні і потрапляє до кантувача, який виконує поворот балки на 90°. Він укладає балку на конвеєр горизонтально.



Рисунок 4.9 – Технологічний процес зварювання балки

Вони розташовуються послідовно, між зварювальними установками. Візки працюють у парі та мають загальну вантажопідйомність 20 т. Вони піднімають балку на висоту до 140 мм. Споживання електроенергії візком становить 1,5 кВт.

Коли балка потрапляє на візки, конвеєр зупиняється. Вони виконують підйом балки над конвеєром. Далі візки переміщуються рейками, розташованими перпендикулярно до конвеєра. Візки доставляють балку до гідравлічного кантувача, який повертає її на 45° .

Вантажопідйомність кантувача також становить 20 т. Він може працювати з балками висотою 200 – 2000 мм та шириною 200 – 1000 мм.

Після цього виготовляється перший зварювальний шов. Балка знаходиться в положенні «човника».

Установка для зварювання переміщається рейками і виконує зварювальний шов. Вона може зварювати метал завтовшки 6 – 40 мм. Допустима висота балки становить 200 – 2000 мм, а ширина 200 – 800 мм. Довжина шва може сягати 15 м. Швидкість зварювання знаходиться в межах 350 – 1500 мм/хв. Потужність зварювання складає 65 кВт, а приводних механізмів – 5,1 кВт.

Кантувач надає балці назад горизонтальне положення. Візки приймають балку і передають на кантувач другої зварювальної установки, що розташовується паралельно. Ця установка має таку саму конструкцію. Після закінчення другого зварювального шва балка лягає горизонтально і за допомогою візків повертається на конвеєр.

В результаті попередніх операцій виходить балка, з одного боку якої виконані шви. Однак вона знаходиться на конвеєрі у горизонтальному положенні, готовими швами догори. Тому використовується додатковий кантувач, який перевертає балку, і вона знаходиться на конвеєрі виконаними швами вниз. Даний кантувач також має гідравлічний привід та вантажопідйомність до 20 т. Він може працювати з виробами габаритами 1000x2000 мм. Швидкість повороту складає 1000 мм/хв. Кантувальник споживає 18 кВт електроенергії.

Третій та четвертий зварювальні шви виробляються аналогічним способом. Також балка кантується на 45° та послідовно проварюються шви на парі зварювальних установок.

Поворот та правка балки. Після проварювання всіх швів балка знаходиться на конвеєрі у горизонтальному положенні. Кантувач повертає балку на 90°, встановлюючи її вертикально. Після цього балка потрапить на установку, яка виконує виправлення грибоподібності полиць. Потреба цієї операції виникає, тому що при зварюванні суцільним швом виникають деформації полиць.

Установка виконує прокатування роликами нижньої полиці. Після цього конвеєр повертає балку на кантувач, який виконує поворот балки на 180°. Балка виявляється випрямленою полицею вгору. Після цього вона знову проходить установку для правки полиць.

Зварена та виправлена балка найчастіше має забруднення, в першу чергу іржу та окалину. Для очищення профілю застосовується дробоструминна машина. Вона також покращує якість поверхні двотавра, що полегшує нанесення на нього покриття.

Дробеструминна машина розганяє сталевий або чавунний дріб до швидкості 60 - 70 м/с і подає її в камеру обробки. Камера має вісім дробометів, що розташовуються по колу. По два дробоміти припадають на зовнішні сторони полиць і стійку. Внутрішні грані полиць обробляються одним дробомета. Потужність дробеструминних машин знаходиться в межах 11-15 кВт. Виріб проходить через камеру зі швидкістю 0,6 – 3 м/хв, витрата дробу – 90-120 т/год. Даними машинами можна виконати обробку профілю розміром 1200x2000 мм.

Загальна ефективність лінії та додаткова обробка. Автоматизована лінія може виготовляти вироби розмірами 2000x1000 мм. Товщина листової сталі, що обробляється, доходить до 40 мм. Можливе виготовлення профілів змінного перерізу з кутом нахилу до 15 °. Загальна продуктивність складає 15 тис. т на рік. Розміри лінії 150x24м. Додатково балка може бути оброблена торцями на фрезерному верстаті. Балка знаходиться горизонтально і жорстко закріплюється, щоб уникнути похибок. Для цього використовуються рами з вертикальними стійками, в яких розташовані гідроциліндри. Управління їх роботою ведеться гідророзподільником, який спрямовує потік масла, що подається гідравлічною станцією під високим тиском. Фрезерний верстат може обробляти балки максимального розміру автоматизованої лінії. Глибина обробки за один прохід досягає 5 мм, швидкість подачі 200 – 650 мм/хв. Для обробки використовуються фрези діаметром 160 – 200 мм.

Також лінія може бути оснащена установкою для свердління балок. Вона дозволяє виконати отвори максимально швидко та з високою точністю. Установка має систему ЧПУ, яка не вимагає попередньої ручної розмітки виробу. Автоматичне виконання отвору дозволяє знизити відсоток браку до мінімуму.

Балки після зборки на прихватках переносять для зварювання в кантувачі, щоб забезпечити зручність проведення зварювальних робіт з обох боків двотаврової балки. виходить за межі опорної поверхні, вантаж перевертається і падає на іншу площину.

У момент перекидання вантажу стропи слабшають, а потім знову натягуються, причому в похилому положенні. Це призводить до ривків, які неможливо усунути повністю, тому що швидкість падіння вантажу завжди перевищує швидкість механізмів крана. без пошкоджень: великогабаритні, громіздкі або крихкі вантажі, обладнання з дорогим покриттям і вимагають залучення великої кількості техніки і робітників під час проведення робіт.



Рисунок 4.10 – Кантувач збірно-зварювальний КЦР-3.

Кантувач збірно-зварювальний КЦР-3 призначений для встановлення деталей прямокутної, квадратної або круглої форми в поперечному перерізі (наприклад балки, труби, колони, металоконструкції тощо в положення, зручне для виконання зварювальних, складальних та інших робіт, що потребують її повороту навколо горизонтальної осі будь-який кут.

4.3 Контроль зварних з'єднань

При виготовленні металоконструкцій працівники технічного контролю проводять перевірку зібраних і зварених вузлів і конструкцій.

Для перевірки якості виготовлення підкранової балки вибираємо такі методи контролю зварних з'єднань: візуальний контроль та рентгенографічний контроль.

При здійсненні технічного контролю перевіряють таке:

- основні розміри вузлів або повністю зібраного виробу за кресленням;

- стикові та кутові з'єднання елементів у вузлах та конструкціях. При цьому за технічними умовами, нормами та кресленням витримують допуски на зазори, кути скосу та притуплення кромки;

- правильне розташування прихваток, що забезпечують таке скріплення зібраних елементів вузла або конструкції, яке не викликало б збільшення внутрішньої напруги після зварювання даного вузла або конструкції;

- поверхня металу в місцях накладання швів елементів, що з'єднуються. Забруднення, іржа та вологість поверхні металу не допускаються, щоб уникнути утворення недоброякісних швів;

Поверхні та кромки металу з метою виявлення дефектів, які могли бути не виявлені на заготівельній ділянці. До таких дефектів відносяться: тріщини, розшарування металу, раковини та вм'ятини на поверхні металу;

Контроль якості зварювання полягає в наступному:

- перевіряють послідовність та режим зварювання вузла або конструкції згідно з заданим технологічним процесом;

- перевіряють якість зварних швів та їх розміри відповідно до креслення зовнішнім оглядом, шаблонами та іншими способами, зазначеними в технологічному процесі.

Контроль зварних швів зовнішнім оглядом виконують поопераційно:

- шви повинні мати гладку або рівномірно-чашуйчасту поверхню без напливів, пропалів, звужень та перерв і не мати різкого переходу до основного металу.

- кутові шви повинні виконуватися з плавним переходом до основного металу та не мати несплавлень по краях;

- наплавлений метал повинен бути щільним по всій довжині шва та не мати тріщин;

- підрізи основного металу допускаються глибиною трохи більше 1 мм;

- всі кратери мають бути заварені.

- виявляють відхилення від прямолінійності зварених вузлів та виробів у межах допусків.



Рисунок 4.11 – Набір катетомірів зварювальника кмс-3-16.

Візуально вимірювальний контроль здійснюється за допомогою лупи 4-х-10-кратного збільшення та вимірювальних інструментів: шаблонів та катетометрів.

Вимірювальний контроль є досконалішим, т.к. здійснюється за допомогою різноманітних технічних засобів контролю.

Перевірка розмірів обробки кромки проводиться спеціальними шаблонами, а виправлення - за допомогою повторної або додаткової механічної обробки.

Контроль розмірів проміжків проводиться спеціальними шаблонами - щупами.

Пропонуємо перевіряти візуальним контролем 100% довжини швів.

Пропонуємо перевіряти рентгенографічним контролем – 20% від суми довжини швів. Рентгенівські промені проникають крізь метал та знижують свою інтенсивність внаслідок поглинання їх металом. Промені послаблюються сильніше в тих випадках, коли вони зустрічають на своєму шляху щільніший метал.

Наявні в зварному шві шлакові включення, газові пори, тріщини або інші дефекти більшою мірою пропускають рентгенівські промені, ніж щільний метал шва. Рентгенівські промені мають таку ж дію на рентгенівську плівку, як і світлові, промені.

При рентгенівському просвічуванні зварного шва в місцях його вад на негативі виходять темніші плями і смуги, що мають форму пороку, внаслідок більш інтенсивного проходження променів через ці дефектні місця. На знімках дефектні місця помітні у вигляді світлих плям і смуг такої ж форми.

Рентгенівське просвічування сталевих елементів доцільно робити при товщині деталі до 100 мм.

По кожному рентгенівському знімку складається довжина просвіченої ділянки шва в мм, характер дефектів, їх розміри в мм і кількість дефектів на цій ділянці.

За характером розподілу дефекти поєднуються у такі групи:

- Група А – окремі дефекти;
- Група Б - ланцюжок дефектів;
- Група В-скупчення дефектів.

Оцінка якості шва за рентгенівськими знімками встановлюється шляхом порівняння з іншими знімками, прийнятими за зразки для даного типу конструкції.

Вона складається з наступних операцій:

- розмітка виробу для виділення ділянок зварних швів, що підлягають просвічуванню;
- вибір режиму просвічування/за таблицями та графіками;
- встановлення рентгенівської трубки та касети з плівкою;
- опромінення шва;
- фотообробка плівки;
- визначення якості знімка за чутливістю, яка обчислюється за допомогою еталонів;
- оцінки якості шва

Касети для рентгенозйомки виготовляють із чорного паперу, гуми, алюмінію або інших матеріалів, непроникних для звичайних світлових променів, та мають найбільш ходовий розмір 300x80 мм.

Залежно від товщини контрольованого металу застосовується один з чотирьох типів еталонів і являють собою пластинки з того ж матеріалу, що і виріб, що просвічується, з канавками різної глибини.

Зварні з'єднання слід просвічувати за розробленою схемою згідно діючих рекомендацій.

4.4 Розробка маршрутної технології збирання та зварювання

005 Підготовка

- 1). Скомплектувати деталі згідно креслення та специфікації;
- 2). Перевірити геометричні розміри заготовок за кресленням;
- 3). Зачистити місця з'єднання під зварювання до чистого металу шириною 20 мм.

010 Вузол 1 Складання

- 1). Встановити на опорну балку стіну поз. 4
- 2). Встановити верхню полицю поз. 1 і нижню полицю поз. 2 – уздовж балок на опорні гвинти
- 3). Підібгати стінку поз. 4, верхню полицю поз. 1 і нижню полицю поз. 2 пневмопритисками
- 4). Прихопити напівавтоматичним зварюванням у середовищі вуглекислого газу стінку поз. 3 з верхньою полицею поз. 1 і нижньою полицею поз. 2 тавровими двосторонніми швами, L пр. = 50-60 мм, кількість - 2.
- 5). Включити портал, пересунути до місця наступної прихватки, на крок прихватки 350-400 мм
- 6). Прихопити напівавтоматичним зварюванням серед вуглекислого газу стінку поз. 4 з верхньою полицею поз. 1 і нижньою полицею поз. 2 тавровими двосторонніми швами, L пр. = 50-60 мм, кількість -2.
- 7). Повторити переходи 5,6 – 19 разів.
- 8). Відвести портал;
- 9). Віджати притискачі;
- 10). Перевірити якість збирання зовнішнім оглядом;
- 11). Здати ВТК - ВІК-100%.
- 12). Передати на зварювання

015 Вузол 1 Зварювання

- 1). Встановити вузол 1 на ланцюговий кантувач прихватками вниз;
- 2). Зварити автоматичним зварюванням під флюсом у нижньому положенні кутові шви таврових з'єднань ТЗ-Д6 без оброблення кромок однопрохідним швом.

- 3). Кантувати вузол на 180 °;
- 4). Повторити перехід 3.
- 5). Перевірити якість зварювання зовнішнім оглядом;
- 6). Здати ВТК – ВІК-100% та 20% зварних швів контролювати рентгенографічним способом.

7). Передати на складання

020 Вузол 2. Складання

- 1). Встановити вузол 1 на складально-зварювальну плиту;
- 2). Розмітити під установку ребер жорсткості поз. 3 – 6 шт. стінку поз. 4, верхню полицю поз. 1 та нижню полицю поз.2.

3). Пристикувати ребро жорсткості поз. 3 за розміткою до стінки поз. 3, верхній полиці поз. 1 і нижній полиці за допомогою косинця перевірного;

4). Прихопити напівавтоматичним зварюванням в середовищі вуглекислого газу ребро поз. 3 зі стінкою поз. 4, верхньої полицею поз.1 і нижньою полицею поз. 2 тавровими двосторонніми швами ТЗ- Δ6, L пр. = 20-30 мм, по дві на стик стінки з ребром і по одній на стики верхньої полицею поз.1 і нижньою полицею поз. 2 з ребром, загальна кількість прихваток – 8.

5). Повторити переходи 3,4 – 6 разів.

6). Перевірити якість складання зовнішнім оглядом;

7). Зачистити зварні шви та навколошовну зону від бризок після зварювання;

8). Перевірити якість складання зовнішнім оглядом;

9). Здати ВТК - ВІК-100%.

025 Вузол 2. Зварювання

1). Зварити напівавтоматичним зварюванням у середовищі вуглекислого газу ребра жорсткості поз. 3 до стінки поз. 4 з верхньою полицею поз.1 і нижньою полицею поз. 2 тавровим однопрохідним швом ТЗ-Δ6

3). Здати ВТК - ВІК-100%.; рентгенографічний контроль – 20% сумарної довжини швів

030 Виправлення грибоподібності

035 Фрезерування торців балки.

5 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Надзвичайні ситуації, які пов'язані з вибухами

Не меншу небезпеку становлять вибухи твердих вибухових речовин на потенційно небезпечних об'єктах. Люди, що перебувають поблизу, можуть потрапити під дію вибухової хвилі, дістати ураження уламками тощо.

Руйнування будівельних конструкцій відбувається внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур та вибухів. При цьому люди можуть одержати значні механічні травми, опинитися під уламками завалених конструкцій.

До того ж, евакуація може бути просто неможливою, внаслідок завалів евакуаційних виходів та руйнування шляхів евакуації.

Основні терміни та визначення: Вибухова речовина (ВР) – хімічна сполука або їх суміш, здатна в результаті певних зовнішніх впливів або внутрішніх процесів вибухати, виділяючи тепло і утворюючи сильно нагріті гази. Комплекс процесів який відбувається в такій речовині, називається детонацією. Повітряна ударна хвиля (ПУХ) – це область різкого стиску повітря, що розповсюджується в усі сторони від центра вибуху з надзвуковою швидкістю.

Повні руйнування – коли руйнуються всі основні елементи будівлі, в тому числі і несучі конструкції. Підвальні приміщення можуть частково зберегтися.

Сильні руйнування – коли руйнуються несучі конструкції і перекриття верхніх поверхів, деформуються перекриття нижніх поверхів. Використання будівлі неможливо, а відновлення недоцільно.

Середні руйнування – коли руйнуються дахи, внутрішні перегородки та частково перекриття верхніх поверхів. Після розчищення частина приміщень нижніх поверхів і підвали можуть бути використані. Відновлення будинків можливо при проведенні капітального ремонту.

Слабкі руйнування – коли руйнуються віконні та дверні заповнення, покрівлю та легкі внутрішні перегородки. Можливі тріщини в стінах верхніх поверхів. Будівля може експлуатуватися після поточного ремонту. В умовах сільськогосподарського виробництва у господарствах, як правило, зберігається значна кількість горючої рослинної сировини та продуктів її переробки. Рослинна сировина має здатність створювати вибухонебезпечні пилоповітряні газоповітряні та комбіновані суміші і вибухати.

Тому приміщення кормоцехів і складів зернових продуктів, кормових дріжджів, у яких знаходиться горючий пил відносять до категорії Б – вибухонебезпечних, клас зони приміщення або середовища за ПБЕ – 21, вибухонебезпечний (ВБН – АПК – 03.07).

Також рослина сировина схильна до самозаймання або займання від джерела запалення, можливості самостійного горіння після його вилучення. Але з точки зору потенційної вибухонебезпеки та можливих негативних наслідків у разі виникнення НС значну загрозу становлять підприємства та сховища мінеральних добрив.

Відомо, що мінеральні добрива є запорукою отримання високих і сталих врожаїв. У розвинутих країнах обсяги їх застосування знаходяться на досить високому рівні. Так, у 2006 році в Німеччині було внесено 209 кг поживних речовин на 1 га ріллі, Великобританії – 273 кг, Голландії – 383 кг на гектар. Структура виробництва мінеральних добрив в Україні має такий вигляд: домінують азотні добрива — карбамід і аміачна селітра – 68 і 27%, серед фосфорних добрив першість посідає гранульований суперфосфат, серед комплексних добрив — амофос і діамфос (26 і 73%), серед калійних – сульфат калію, калімагнезія і каїніт (відповідно 40, 32 і 28%). В історії людства відбулося декілька катастрофічних вибухів аміачної селітри.

Аміачна селітра активно використовується терористами у якості вибухівки під час проведення терактів. Наприклад: Теракт в Оклахома-Сіті (англ. Oklahoma City bombing) — терористичний акт в Оклахома-Сіті, столиці американського штату Оклахома, 19 квітня 1995 року.

Підбив Тімоті Маквеем начиненої вибуховою речовиною вантажівки біля восьмиповерхового будинку, де розташовувалися установи федерального уряду призвів до загибелі 168 людей. До терактів 11 вересня 2001 року теракт в Оклахома-сіті вважався найгіршим в американській історії. Після вибуху в Оклахома-Сіті продавці сільськогосподарських міндобрих у декількох штатах країни були зобов'язані вести облік, усіх, хто купує велику кількість речовин, які могли б бути використані у вибухівках

5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні

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

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

Як показують статистичні дані, 80% травм зварників пов'язано з транспортними операціями важких металевих виробів. Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення

мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві дуги протягом не більше 0,5 с. Враховуючи непостійну величину електричного опору людського тіла, безпечним вважають напругу не вище 12 В (переносне освітлення).

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися наступних заходів:

- 1) надійна ізоляція всіх, проводів, пов'язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги, пристрій геометрично закритих включаючих пристроїв, заземлення корпусів зварювальних апаратів (заземленню підлягають: корпуса джерел живлення, апаратного ящика, допоміжне електричне обладнання; перетин заземлюючих проводів повинен бути не менше 25 мм²);

- 2) застосування в джерелах живлення автоматичних вимикачів високої напруги, які в момент холостого ходу розривають зварювальний ланцюг і подають на тримач напругу 12 В;

- 3) надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварним виробом або руками зварника (ГОСТ 14651-69);

- 4) робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях. При роботі в тісних відсіках і замкнутих просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6-12 В;

- 5) при роботі на електронно-променевих установках запобігання небезпеки ураження променями жорсткого рентгенівського поглинання шкідливих випромінювань, пов'язаних з горінням дуги (особливу небезпеку в сенсі ураження очей представляє світловий промінь квантових генераторів (лазерів) так, як навіть відбиті промені лазера можуть викликати важке пошкодження очей та шкіри).

Захисне скло, вставлене в щитки й маски, зовні закривається простим склом для оберігання його від бризок розплавленого металу. Щитки виготовляють з ізоляційного металу – фібри, фанери і за формою і розмірами вони повинні повністю захищати обличчя та голову зварника (ГОСТ 1361-69).

Для ослаблення різкого контрасту між яскравістю дуги і малою яскравістю темних стін (кабіни) останні повинні бути пофарбовані у світлі тони (сірий, блакитний, жовтий) з додаванням у фарбу окису цинку з метою зменшення відображення ультрафіолетових променів дуги, що падають на стіни.

При роботі поза кабіною для захисту зору зварювальників, що працюють і допоміжних робітників повинні застосовуватися переносні щити й ширми. Для запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (брюки, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини.

Куртки при роботі не слід вправляти у штани, а взуття повинне мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не потрапляли всередину одягу, так як в цьому випадку можливі важкі опіки. Для захисту від зіткнення з вологою, холодною землею і снігом, а також з холодним металом при зовнішніх роботах і в приміщенні зварювальники повинні забезпечуватися теплими підстилками, матами, підколінниками і підлокітниками з вогнестійких матеріалів з еластичним прошарком.

Висока температура дуги (6000-8000°C) неминуче призводить до того, що частина зварювального дроту, покриттів, флюсів переходить в пароподібний стан. Ці пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль конденсації, частинки якої по дисперсності наближаються до димам і легко потрапляють в дихальну систему зварювальників. Ці аерозолі становлять головну професійну небезпеку праці зварювальників. Кількість пилу в зоні дихання зварника залежить головним чином від способу зварювання і зварювальних матеріалів, але певною мірою визначається і типом конструкцій. Хімічний склад електрозварювального пилу залежить від способів зварювання та видів основних і зварювальних матеріалів. Поряд з пилом при дуговому зварюванні також утворюються і виділяються газоподібні продукти – оксиди азоту, окис вуглецю; при зварюванні електродом з покриттям "Б" і під флюсами – фтористі з'єднання.

Запобігання небезпеки ураження променями електричної дуги. Зварювальна дуга є джерелом світлових променів, яскравість яких може викликати опік незахищених очей при опроміненні їх протягом всього 10-15 с. Більш тривалий вплив випромінювання дуги може привести до пошкодження кришталика ока і втрати зору.

Ультрафіолетове випромінювання викликає опіки очей та шкіри, інфрачервоне може викликати помутніння кришталика ока. У зоні дихання зварювальників концентрація цих газів може досягати (мг/л): N_2O_5 0,009-0,018; SiF_4 , HF до 0,004 кожного, CO до 0,46.

При зварюванні кольорових металів і їх сплавів в зоні дихання зварника можуть спостерігатися такі шкідливі газоподібні сполуки як наприклад, ZnO , SnO_2 , MnO_2 , SiO_2 і т.д. Найбільш небезпечні для здоров'я зварювальників аерозолі марганцю, так як отруєння марганцем може викликати тривале і стійке ураження центральної нервової системи аж до паралічів.

Гострі отруєння парами цинку і свинцю можуть викликати ливарну лихоманку, а отруєння хромовим ангідридом – бронхіальну астму. Тривале відкладання пилу в легенях може викликати пневмоконікози.

Всі зазначені ураження можуть виникнути, якщо зварювання виконують з грубим порушенням правил техніки безпеки та охорони праці, що стосуються забезпечення загальної та місцевої вентиляції, застосування індивідуальних засобів захисту (масок, респіраторів), особливо при зварюванні кольорових металів і їх сплавів, а також при зварюванні в тісних, замкнутих відсіках при недостатній вентиляції і т. п.

Існують суворі вимоги в області вентиляції при зварювальних роботах. Для уловлювання зварювального аерозолю на стаціонарних постах, а де це можливо, і на нестаціонарних потрібно встановлювати місцеві відсмоктувачі у вигляді витяжної шафи вертикальної та ін.

При автоматичному зварюванні під флюсом, в захисних газах, електрошлакового зварювання застосовують пристрої з місцевим відсмоктуванням газів.

При використанні балонів із стисненими газами необхідно дотримуватися встановлених заходів безпеки: не кидати балони, не встановлювати їх поблизу нагрівальних приладів, не зберігати разом балони з киснем та горючими газами, балони зберігати у вертикальному положенні.

При замерзанні вологи в редукторі балона з CO₂ відігрівати його тільки через спеціальний електричний обігрівач або обкладаючи ганчірками, намоченими в гарячій воді. Категорично забороняється відігрівати будь балони із стисненими газами відкритим полум'ям, тому що це майже неминуче призводить до вибуху балона.

При виробництві зварювальних робіт на ємностях, раніше використаних, потрібно з'ясувати тип продукту, що зберігався і наявність його залишків. Обов'язкове ретельне очищення судини від залишків продуктів і 2-3- кратна промивка 10%-вим розчином лугів, необхідне також подальше продування стисненим повітрям для видалення запаху, який може шкідливо діяти на зварювальника.

Категорично забороняється продувати ємності киснем, тому що в цьому випадку потрапляння кисню на одяг і шкіру зварювальника за будь-якому відкритому джерелі вогню викликає інтенсивне загорання одягу і призводить до опіків зі смертельним результатом. Вибухонебезпечність існує і при виконанні робіт в приміщеннях, що мають велику кількість пилоподібних органічних речовин (харчового борошна, торфу, кам'яного вугілля). Цей пил при певній концентрації може давати вибухи великої сили. Крім ретельної вентиляції для виробництва зварювальних робіт у таких приміщеннях потрібно спеціальний дозвіл пожежної охорони. Небезпека виникнення пожеж від розплавленого металу і шлаку існує в тих випадках, коли зварювання виконують по металу, що закриває дерево або горючі матеріали, на дерев'яних лісах, поблизу легкозаймистих матеріалів тощо. Для запобігання травм, пов'язаних зі складальними і транспортними операціями (травми механічного характеру) важливе значення має впровадження комплексної механізації та автоматизації.

Основними причинами травматизму при зборці і зварюванні є:

- відсутність транспортних засобів для транспортування важких деталей та виробів;

- несправність транспортних засобів;
- несправність такелажних пристроїв;
- несправний інструмент: кувалди, молотки, гайкові ключі, зубила і т. п.;
- відсутність захисних окулярів під час очищення швів від шлаку;
- відсутність спецодягу та інших захисних засобів.

В такому випадку застосовують наступні заходи захисту:

- всі зазначені засоби та інструменти слід періодично перевіряти;
- такелажні роботи повинні проводити особи, які пройшли спеціальний інструктаж;

- від робочих необхідно вимагати дотримання всіх правил з техніки безпеки, включаючи роботу в спецодязі, рукавицях;

- використання засобів індивідуальної вентиляції (де це необхідно) і т. д.

Важливе значення має впровадження комплексної механізації та автоматизації, що значно зменшує небезпеку травм такого роду.

ВИСНОВКИ

У ході виконання КРМ було розглянуто найбільш популярні способи автоматичного зварювання таврових балок, наведено їхній порівняльний аналіз.

Розглянуто проблематику залишкових деформацій балок після зварювання та методи їх виправлення.

Проведено огляд установки автоматичного зварювання балок під шаром флюсу Corimrex BWM-TC 1200x600 та додаткового оснащення для виправлення залишкових деформацій безпосередньо в процесі зварювання. Запропоновано технологію зварювання таврових балок на даній установці з можливістю виправлення залишкових деформацій безпосередньо в процесі зварювання.

Результатом роботи є циклограма зварювального процесу. Циклограма описує схему роботи зварювальної установки та оснащення для виправлення залишкових деформацій, встановлюють порядок роботи з установкою.

На підставі отриманих даних можна сказати, що зварювання на установці автоматичного зварювання балок під шаром флюсу Corimrex BWM-TC 1200x600 з редагуванням залишкових деформацій безпосередньо в процесі зварювання.

Дана технологія дозволяє знизити залишкові деформації балки до допустимого значення і дозволяє відмовитися від додаткових операцій з механічної редагування залишкових деформацій, що значно збільшує продуктивність і зменшує собівартість виготовлення таврових балок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довбуш М.А., Ракочий В.М. Процес зварювання неплавким електродом двотавра та труби малого діаметра: тези доп. XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 12-13 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. С. 123 – 124.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Пулька Ч.В. Пути совершенствования технологии индукционной наплавки тонких стальных дисков/ Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблій, В.Н. Барановский [та ін.] // Междун. науч.-техн. и произв. журнал «Автоматическая сварка». 2015. № 5–6 (742). С. 64–67.
10. Пулька Ч.В. Математична модель оптимізації енерговитрат індукційного наплавлення / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.М. Барановський [та ін.] // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і енергетика АПК» / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. К., 2015. Вип. 226. С. 386–393.

11. Стельмах І.С. Перспективи використання методу плазмового зварювання для відновлення культиваторних лап / І.С. Стельмах, Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. 51. С. 182–186.

12. Pulka Ch.V. Ways of updating the technology of induction surfacing of thin steel disk / Ch.V. Pulka, O.N. Shably, V.M. Baranovsky [but other] // The Paton WELDING JOURNAL. Kiev, E.O. Paton Elektric Welding Institute of the NAS of Ukraine. May-June 2015. – № 5–6/2015. – Pg. 59–62.

13. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский, С.Л. Чиграй // Проблемы трибологии. Міжн. наук. журнал : Хмельницький нац.ун-т. 2015. № 4. С. 92–98.

14. Барановський В. Експериментальні дослідження контактного точкового зварювання деталей сільськогосподарських машин / Віктор Барановський // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2015. – Т. 4 (80). С. 111–118.

15. Барановский В.Н. Методы применения контактной точечной сварки в сельскохозяйственном машиностроении / В.Н. Барановский // Lucrări științifice, UASM. Chișinău: Centrul editorial UASM, 2015. Vol. 45. – С. 191–195

16. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

17. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.

18. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.

19. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

20. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

21. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

22. Барановський В.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 8.05050401 – «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 86 с.

23. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з курсу «Безпека життєдіяльності». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 62 с.

24. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

25. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Львів.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ

