

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

«Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Розробка технології зварювання тертям - перемішуванням

фрагментів із сплаву АМгб корпусу зерновозів»

(назва теми)

Виконала: студентка 2 курсу, групи ІФз - 312М

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технологія та устаткування зварювання

ЗАЄЗЖАЙ М. І
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

М. І. Заєзжай
21.12.23

Керівник

БІЛОНІК І. М.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

І. М. Білоник
21.12.23р

Рецензент

МІТЯЄВ О. А.
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

О. А. Митяєв
21.12.2023р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Інтегровані технології зварювального виробництва та моделювання конструкцій (ІТЗ та МК)

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Технологія та устаткування зварювання»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТЗ та МК

О. Є. КАПУСТЯН

« 21 » грудня 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЗАЄЗЖАЙ Марії Ігорівни

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка технології зварювання тертям - перемішуванням фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів»

керівник проекту (роботи)

к.т.н., доцент БІЛОНИК Ігор Методійович,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 15 » грудня 2023 року № 509

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

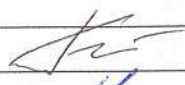
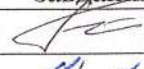



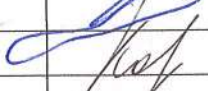
3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення виробу та матеріал сплаву АМг6

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ.

Стан питання
Конструкція фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів
Розроблення зварною швом в процесі зварювання тертям з перемішуван.
Розробка технології ЗТП фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів
Контроль якості. Окрімо має те зображення надійніших матеріалів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Застосування алюмінієвих сплавів в автомобільній промисловості; Лімітні та механічні властивості алюмінієвих сплавів. Порівняльна характеристика ЗТП та зварювання шавтиснаєм. Конструкція фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозу та параметри режиму зварювання.
Схема процесу ЗТП, схема обробки ЗТП фрагментів корпусу зерновоза. Особливості конструкції конструкції ЗТП.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

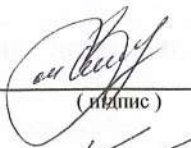
| Розділ | ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-------------|---|---|---|
| | | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-5 | Білоник І. М. доцент |  |  |
| 6 | Нестеров О. В. доцент |  |  |
| нормоконтр. | Корнієнко О. Б. ст. викладач |  |  |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання « 23 » жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1. | Вступ | 24.10.2023 | |
| 2. | Стан підприємства | 29.10.2023 | |
| 3. | Конструктивні рішення у складі АМГ корпусу зерноводу | 05.11.2023 | |
| 4. | Формування дварного шве в процесах ЗТП. | 15.11.2023 | |
| 5. | Розробка технічної ЗТП рішення у складі АМГ корпусу зерноводу | 22.11.2023 | |
| 6. | Контроль якості | 01.12.2023 | |
| 7. | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 07.12.2023 | |
| 8. | Виконання креслень та деталів | 15.12.2023 | |
| | | | |
| | | | |

Студент(ка)


 (підпис)
Марія ЗАЄЗЖАЙ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис)
Ігор БІЛОНИК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 101 аркуш; 7 таблиць; 58 джерел; 32 рисунків.

ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ, ЗТП,
ІНСТРУМЕНТ, МІКРОСТРУКТУРА, ОБИЧАЙКА, УЛЬТРАЗВУК,
ФРАГМЕНТ, ЦИКЛОГРАМА.

Об'єкт дослідження – процес збирання і зварювання тертям з перемішуванням фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів.

Мета дипломної роботи – розробити технологію зварювання тертям з перемішуванням фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів.

Розроблено технологічний процес зварювання фрагментів зерновозу. Вибрано зварювальне обладнання на підібрана технологічна оснастка для зварювання.

ABSTRACT

PZ: page 101, figure 32, table 7, used sources 58.

**FRICTION STIR WELDING, FSW, TOOL, MICROSTRUCTURE,
CUSTOM, ULTRASOUND, FRAGMENT, CYCLOGRAM**

The object of the research is the process of assembly and friction welding with mixing of AMg6 alloy body body fragments.

The aim of the thesis is to develop a technology of friction welding with mixing of AMg6 alloy body grain truck fragments.

The technological process of welding grain truck fragments has been developed. The welding equipment is selected for the selected technological equipment for welding.

ВСТУП

У всьому світі в автомобільній промисловості проводять розробки по впровадженню прогресивних технологій у виробництво елементів корпусів машин, баків та деталей. Ці заходи проводяться з метою зменшення ваги конструкції та збереження експлуатаційних властивостей, підвищення ефективності виробництва за параметрами ресурсоемності та трудомісткості, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт.

Розвиток виробництва легких конструкцій техніки неможливий без використання конструкційних матеріалів, що мають високі механічні властивості при малій питомій вазі. Але не завжди матеріали мають необхідну технологічність при отриманні нероз'ємних з'єднань. Прикладом таких матеріалів є алюмінієві сплави, основними перевагами яких є мала щільність, висока питома міцність, висока корозійна стійкість, але при цьому мають погану зварюваність при використанні традиційних методів зварювання плавленням. Основною проблемою при цьому часто є схильність алюмінієвих сплавів до утворення пор і гарячих тріщин, які утворюються при кристалізації розплаву, крім того для них зварювання необхідно використання захисних газів чи флюсів.

Виконані в останні роки дослідження показали, що для з'єднання конструкцій з алюмінієвих сплавів найбільш ефективною є технологія – перемішуюче зварювання тертям.

Технологічні складності та низька економічна ефективність традиційних видів зварювання при виробництві деталей та виробів з алюмінію привели до необхідності розробки нового методу. Так 1991 року було запатентовано зварювання тертям перемішуванням (ЗТП), що отримало сьогодні широке застосування в усьому світі.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Реферат | 5 |
| Abstract | 3 |
| Вступ..... | 4 |
| Зміст..... | 6 |
| Перелік скорочень | 8 |
| 1 Стан питання..... | 9 |
| 1.1. Алюмінієві сплави в автомобільній промисловості | 10 |
| 1.2. Методи зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів | 11 |
| 1.2.1. Газове зварювання алюмінієвих сплавів | 12 |
| 1.2.2. Ручне дугове зварювання покритими електродами | 17 |
| 1.2.3. Ручне дугове зварювання електродом, що не плавиться..... | 18 |
| 1.2.4. Зварювання електродом, що плавиться | 21 |
| 1.2.5. Зварювання під/по флюсу | 22 |
| 1.3 Зварювання тертям з перемішуванням алюмінію та алюмінієвого сплаву | 23 |
| 1.3.1. Перевага процесу зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП)..... | 23 |
| 1.3.2. Сутність та особливості процесу ЗТП | 25 |
| 1.3.3. Формування структури зварного шва у процесі ЗТП | 29 |
| 1.4. Обґрунтування застосування зварювання тертям з перемішуванням для виготовлення силових фрагментів корпусів | 31 |
| 2 Конструкція фрагментів із сплаву АМГ6 корпусу зернового | 34 |
| 3. Формування зварного шва в процесах зварювання тертям з перемішуванням | 36 |
| 3.1. Схема формування зварного шва | 36 |
| 3.2. Фізико-механічні явища в зоні зварювання тертям з перемішуванням | 39 |
| 3.3 Визначальні технологічні параметри та циклограми процесу зварювання тертям з перемішуванням..... | 41 |
| 3.3.1 Спеціальні умови процесу ЗТП..... | 47 |
| 3.3.2 Циклограми робочого процесу ЗТП | 47 |

| | |
|---|-----|
| 3.4 Енергія пластичного деформування | 49 |
| 3.5. Теоретичний потенціал можливості зварювання тертям з перемішуванням | 54 |
| 4. Розробка технології зварювання тертям з перемішуванням фрагментів із сплаву АМгб корпусу зерновозів | 56 |
| 4.1. Вибір та відпрацювання параметрів режиму зварювання | 56 |
| 4.2 Обладнання для зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвих фрагментів корпусу зерновозу | 61 |
| 4.3 Устаткування для стикування і зварювання обичайок | 64 |
| 4.4 Обладнання для підготування кромки для зварювання | 67 |
| 4.5 Особливості конструкції інструмента для зварювання тертям з перемішуванням | 68 |
| 4.5.1. Конфігурації робочих частин інструмента | 68 |
| 4.5.2 Фізико-механічні та технологічні вимоги до інструменту | 71 |
| 4.6 Обладнання для контролю параметрів та управління процесом | 72 |
| 5 Контроль якості | 77 |
| 5.1 Дефекти, що виникають при зварюванні тертям з перемішування | 77 |
| 5.2 Візуальний контроль | 82 |
| 5.3 Ультразвуковий метод контролю | 83 |
| 5.4 Рекомендовані методи виправлення дефектів | 85 |
| 6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 86 |
| 6.1 Аналіз потенціальних небезпек | 86 |
| 6.2 Заходи по забезпеченню безпеки | 87 |
| 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці | 90 |
| 6.4 Заходи пожежної безпеки | 93 |
| 6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях | 94 |
| Перелік джерел посилань | 965 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗТП – зварювання тертям з перемішуванням

ЗТВ – зона термічного впливу

ЗШ – зварювальний шов

ТМЗ – термомеханічна зона

ЗТМВ – зона термомеханічного впливу

ДеЗ – деформовані зерна

МЗ – мілкі зерна

КЗ – критичні зерна

ДоЗ – докритичні зерна

ОМ – основний метал

АДЗНЕ – аргоно-дугове зварювання неплавким електродом

ЗМ – зона матеріалу

ГІ – геометрія інструмента

СЗ – сили закріплення

СУ – система управління

ПЗ – програмне забезпечення

АрДЗ – аргоно-дугове зварювання

TWI - Technological Welding Institute

1 СТАН ПИТАННЯ

Основною характеристикою будь-якої конструкції є здатність забезпечувати необхідну працездатність за заданих умов експлуатації протягом певного терміну. Часто для виготовлення конструкції та досягнення поставленої мети застосовують нові матеріали, методи з'єднання окремих вузлів та елементів, а також унікальні технології виробництва. Істотно впливає кожна з цих складових на вартість виробу і значною мірою визначає експлуатаційні характеристики.

Алюмінієві сплави, починаючи з середини ХХ століття, все ширше застосовуються в багатьох галузях промисловості, оскільки мають дуже малу щільність, але за питомою міцністю практично можна порівняти з іншими конструкційними сталями та сплавами. Крім того, багато сучасних алюмінієвих сплавів мають гарну опірність корозії в річковій і морській воді, жароміцність, а також високі механічні властивості при криогенній температурі аж до -196°C . Це зумовило їхнє переважне застосування в ракето-космічній та авіаційній техніці, суднобудуванні та автотранспортній техніці[1-3].

Однак у міру підвищення експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів збільшується їх схильність до утворення технологічних дефектів, у тому числі при зварюванні: пористості у швах, тріщини різної природи та крихкості зварних з'єднань. У зв'язку з цим ряд високоміцних сплавів відносять до категорії, що не зварюються.

1.1 Алюмінієві сплави в автомобільній промисловості

Алюміній вперше почав використовуватися в автомобільній промисловості понад сто років тому. У той час він був зовсім ще новим і маловивченим металом, але його властивості - легкість і відсутність корозії - робили його дуже перспективним для автомобілебудування, що зароджується.

Нові міцні метали з алюмінію здатні повністю замінити сталь. Однією з головних вимог до матеріалів, які застосовуються в автомобільному транспорті, є мала маса і досить високі показники міцності. Приймаються до уваги також корозійна стійкість та гарна декоративна поверхня матеріалу. Висока питома міцність алюмінієвих сплавів збільшує вантажопідйомність та зменшує експлуатаційні витрати пересувного транспорту. Висока корозійна стійкість матеріалу продовжує термін експлуатації, розширює асортимент товарів, що перевозяться, включаючи рідини та гази з високою агресивною концентрацією.

Сьогодні алюміній – другий матеріал за відсотковим змістом у загальній вазі автомобіля та застосовується у виробництві кузовів та компонентів підвісок, шасі, а також у блоках циліндрів та інших компонентах двигуна. Понад 30 % алюмінію використовується сьогодні в автомобілебудуванні та транспорті[11]. Вміст алюмінію в загальній вазі автомобіля збільшуватиметься з року в рік. Вважається, що 1 кг алюмінію може замінити до 2 кг сталі або чавуну в багатьох сферах застосування. Чим більше в автомобілі використовується алюмінію, тим легше автомобіль, що означає, що він споживає менше палива і викидає менше шкідливих газів в атмосферу.

1.2 Методи зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів

Маючи малу щільність, порівняно високу міцність, хорошу оброблюваність і здатність легко деформуватися, напівфабрикати з алюмінієвих сплавів мають важливе значення. Висока корозійна стійкість більшості алюмінієвих сплавів, хороша тепло- та електропровідність роблять їх у багатьох випадках важко замінним конструкційним матеріалом.

Алюмінієві сплави поділяють на дві основні групи: деформовані та ливарні. Теоретичною межею між цими сплавами служить межа розчинності елементів у твердому розчині. Сплави, що деформуються, мають концентрацію легуючих елементів менше межі розчинності і при нагріванні можуть бути переведені в однофазний стан, при якому забезпечується їх висока деформаційна здатність.

Ливарні сплави лежать поза розчинності і мають у структурі евтектику. Наявність останньої надає сплавам гарних ливарних властивостей (плинність, заповнюваність форми), але погіршує їхню здатність до деформації.

Більшість елементів, що входять до складу алюмінієвих сплавів, мають обмежену розчинність, що змінюється зі зміною температури. Це зумовлює здатність сплавів зміцнюватися під час термообробки. Теоретично зміцненням при термообробці повинні відрізнятися всі сплави, що мають концентрацію легуючих елементів понад межу розчинності при кімнатній температурі. У зв'язку з цим розрізняють сплави, що не зміцнюються термічно, і сплави що термічно зміцнюються.

Серед ливарних і деформованих зміцнюваних сплавів можуть зустрітися сплави, що мають незначний ефект зміцнення, тому наявність у складі сплаву елементів, що легують, понад межу розчинності при кімнатній температурі слід розглядати як необхідну, але не обов'язкову умову здатності сплавів зміцнюватися при термообробці.

У зварних конструкціях набули поширення деформовані алюмінії (АТ, АД1 та ін) і алюмінієві сплави, що не зміцнюються термообробкою (АМц, АМг, АМгЗ, АМг6З, АМг6 та ін), а також зміцнювані (Д20, М40, В20 та ін.). Ливарні сплави застосовують у зварних конструкціях рідко.

При зварюванні плавленням конструкцій з алюмінієвих сплавів можливі різні види зварних з'єднань: стикові, нахльостові, таврові та кутові. Найбільшого поширення набули стикові з'єднання. Нахльостові, таврові та кутові з'єднання бажано виконувати аргоно-дуговим зварюванням.

1.2.1 Газове зварювання алюмінієвих сплавів

Як паливо для газового зварювання алюмінієвих сплавів найчастіше використовують ацетилен. Однак через низьку температуру плавлення допускається застосування водню та замінників ацетилену – більш дешевих горючих газів, робота з якими економічно вигідніша та безпечніша.

Застосування водню допускається за товщини матеріалу до 1 – 2 мм. Слід зважати на те, що розплавлений метал зварювальної ванни активно поглинає водень. Цей процес посилюється у міру підвищення температури. Поглинання водню погіршує якість шва, тому слід зварювати без перегріву.

Застосування пропан-бутану при зварюванні, наприклад деталей зі сплаву АМц товщиною до 3 мм, забезпечує таку ж продуктивність процесу та якість одержуваних сполук, як і при ацетиленокисневого полум'я. При зварюванні деталей товщиною 5 – 8 мм продуктивність у разі використання пропан-бутану на 15 – 20 % нижче, ніж при застосуванні ацетилену. Помітного зниження механічних властивостей деталей, що зварюються, не відбувається. Ширина зони термічного впливу при зварюванні деталей сплаву АМц пропан-бутаном буде в 1,5 – 2 рази більше, ніж при застосуванні ацетилену.

При виборі присадного металу для газового зварювання алюмінію бажано, щоб його склад відрізнявся від складу основного металу. Виняток становлять лише чистий алюміній та сплави типу АМц. Застосування присадки, склад якої аналогічний складу основного металу, при зварюванні алюмінієвих сплавів підвищеної міцності призводить до отримання з'єднань, що не мають достатньо високої міцності і можуть мати тріщини та пористість.

Зазвичай присадку застосовують у вигляді тягнутого або пресованого дроту, а також спеціально відлитих прутків. Діаметр її повинен відповідати товщині деталей, що зварюються.

Присадку не слід зберігати в тому самому приміщенні, в якому виготовляють зварювання. Поверхня присадки повинна бути гладкою, чистою, без плям, тріщин, заходів сонця, вм'ятин, задирок, розшарування і різких перегинів. Тягнутий дріт поставляють у нагартваному стані в бухтах, а гарячепресований - в бухтах або прутках довжиною не менше 3 м. Сліди жирів, масла, бруду повинні бути видалені знежиренням і травленням (технологія знежирення і травлення присадки та ж, що і для основного металу). За відсутності дроту необхідної марки допускають використання смуг, нарізаних з листів або бракованих деталей того ж складу. Ширина смуг зазвичай повинна бути в 2 рази більша за товщину. По можливості смуги калібрують, надаючи їм круглий переріз шляхом волочіння через прості фільтри. Останні закріплюють у патроні токарного верстата, а загострений кінець смуги – у супорті. При зварюванні дротом круглого перерізу формування шва покращується.

Якщо склад металу присадки відрізняється від складу основного металу, виникає небезпека утворення вогнищ корозії. При виборі присадки необхідно враховувати температуру її плавлення. Так, для зварювання чистого алюмінію присадки зі сплавів алюмінію непридатні, оскільки температура плавлення цих сплавів нижче за температуру плавлення алюмінію.

Для газового зварювання алюмінієвих сплавів застосовують присадки, зазначені в табл. 1.1

Таблиця 1.1 - дроти присадочні для газового зварювання алюмінієвих сплавів

| Марка зварюваного сплаву | Марка дроту за ГОСТ 7871 - 75 |
|--------------------------|-------------------------------|
| АД, АД1, АД0 | СВА5, СВА97 |
| АМц | СВАМц |
| АМг2, АМг3, АМг4 | СВАМг3, СВАМг6 |
| АМг5 | СВАМг5, СВАМг6 |
| АМг6 | СВАМг6, СВАМг61 |
| МВ, АД31, АД33 | СВАК5, Св1557 |
| АЛ2, АЛ4, АЛ6 | СВАК5 |

Як правило, газове зварювання алюмінієвих сплавів виконують із застосуванням флюсів. Склади флюсів, що використовуються для газового зварювання алюмінієвих сплавів, наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Флюси, що застосовуються в газовому зварюванні алюмінію та його сплавів.

| Компонент флюсу | Хімічний склад, мас. %, флюсу | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|----|----|----|------|------|-------|
| | №1 | №2 | №3 | №4 | ВАМИ | KR-1 | АФ-4А |
| Натрію хлорид | 30 | 19 | 41 | 16 | 30 | 20 | 28 |
| Калію хлорид | 45 | 29 | 51 | 44 | 50 | 45 | 50 |
| Літію хлорид | 15 | - | - | - | - | - | 14 |
| Барію хлорид | - | 48 | - | 20 | - | 20 | - |
| Натрію фторид | - | - | 8 | 20 | - | 15 | 8 |
| Калію фторид | 7 | - | - | - | - | - | - |
| Кальцію фторид | - | 4 | - | - | - | - | - |
| Натрію сульфат | 3 | - | - | - | - | - | - |
| Кріоліт | - | - | - | - | 20 | - | - |

Для газового зварювання алюмінію використовують флюси у вигляді порошку або паст, які отримують розведенням порошкоподібних сумішей у м'якій (краще дистильованій) воді або спирті до кашкоподібної консистенції безпосередньо перед зварюванням.

Флюс наносять тонким шаром на присадку або поверхню деталей, що зварюються, спеціальним волосяним пензлем, що використовується тільки для цієї мети. Присадку можна покривати флюсом, занурюючи кінець дроту або дроту в розведений флюс. Зайва його кількість ускладнює спостереження за зварювальною ванною. Флюс наносять лише після повного зачистки деталей та їх прихватки на ширину, яка втричі перевищує ширину шва. При виконанні прихватки флюс наносять лише на присадку.

Залишки флюсів можуть викликати корозію зварних з'єднань, тому після зварювання відповідні ділянки на зварних виробах зачищають металевою щіткою та піддають спеціальній обробці. Зварні з'єднання, з яких залишки флюсів та шлаки видалити важко, при зварюванні деталей з алюмінієвих сплавів застосовувати не рекомендується. При необхідності зварювання на закритих ділянках конструкцій (труби, закриті профілі та ін) застосовують фторидні флюси, які не містять хлористих солей. Залишки таких флюсів і шлаки, що утворюються ними, не викликають корозії, проте ці флюси менш технологічні, мають більш високу температуру плавлення, меншу плинність і виділяють при зварюванні токсичні пари. Крім того, вони утворюють важкі шлаки, що погано видаляються з поверхні зварного шва. Для видалення важких шлаків виробу, що охолодилися після зварювання, змочують водою, після чого нагрівають шви жорстко відрегульованим полум'ям. Наслідок відмінності коефіцієнтів теплового розширення шлаку та металу частки шлаку відокремлюються.

Правильний вибір зазору дозволяє виконувати зварювання без короблення і викликаних ними затискань і перекриття деталей, що зварюються, утворення порожнин, в яких могли б накопичуватися залишки флюсу, що є причиною розвитку корозії. Взаємне перекриття деталей

викликається тим, що обрана величина зазору надмірно мала. При виникненні перекриття деталі, що зварюються, доводиться роз'єднувати. Для запобігання виникненню надмірних деформацій при зварюванні замкнених конструкцій, наприклад, баків з тонкостінного матеріалу товщиною до 1,2 мм, на деталях виконують місцевий вигин. Через нагрівання при зварюванні вони випрямляються, що сприяє зменшенню деформацій та напруги у зварному з'єднанні.

При зварюванні деталей малої товщини сталість зазору в стиковому з'єднанні забезпечують переважно прихваткою, яку виконують присадкою, в подальшому використовуваної для зварювання деталей.

Полум'я пальника при зварюванні алюмінієвих сплавів має бути нормальним. В окремих випадках допускається невеликий надлишок ацетилену. Великий надлишок ацетилену може спричинити пористість у швах. Не можна допускати надлишку кисню, що сприяє утворенню оксиду алюмінію. Зварювання ядром полум'я не допускається. Присадковий метал повинен плавитися лише в межах зварювальної ванни розплавленого металу шва.

Спосіб газового зварювання обирають залежно від товщини деталей. Найчастіше застосовують (для товщини менше ніж 5 мм) лівий спосіб. При товщині понад 5 мм можна використовувати правий метод зварювання.

Характер руху пальника і присадки в процесі зварювання дуже впливає на формування шва і залежить від його положення в просторі, товщини металу, що зварюється, і розмірів шва.

Необхідно прагнути зварювання в нижньому положенні. Зварювання в похилому положенні під кутом, що не перевищує 45° , допускається лише в окремих випадках, як і зварювання горизонтальних швів. Зварювання вертикальних та стельових швів не допускається.

Зварювати слід з великою швидкістю, щоб не перегрівати метал і, по можливості, безперервно, без відриву полум'я. Шов слід закінчувати за операцією. Не рекомендується виконувати багатошарові шви, оскільки часто

виникають пори. Після закінчення зварювання або при необхідності перервати її, пальник треба відводити від розплавленої ванни поступово, щоб уникнути різкого охолодження шва та утворення тріщин. Не допускається вторинний прохід уже виконаним швом для поліпшення його зовнішнього вигляду. Якщо довжина шва перевищує 500 мм, слід застосовувати зворотно-ступінчастий спосіб зварювання.

З наближенням до краю деталі слід збільшувати швидкість зварювання і зменшувати кут нахилу мундштука пальника. Це запобігає перегріву та оплавленню деталі. У разі зварювання деталей різної товщини або деталей, виготовлених із матеріалів з різною температурою плавлення, полум'я пальника направляють на деталь більшої товщини або з вищою температурою плавлення. Основні параметри режиму зварювання слід підбирати за середньою товщиною деталей, що зварюються.

1.2.2 Ручне дугове зварювання покритими електродами

Ручне дугове зварювання покритими електродами застосовують при товщині металу понад 4 мм. Зварювання здійснюють на постійному струмі зворотної полярності без поперечних коливань. При зварюванні технічно чистого алюмінію та сплавів типу АМц металевий стрижень електрода виготовляють із дротів, близьких за складом до основного металу. Для сплавів типу АМг слід застосовувати дріт із підвищеним вмістом магнію (1,5 - 2,0 %) з метою компенсації його чаду при зварюванні. Основу покриття електродів складають кріоліт, хлористі та фтористі солі натрію та калію.

При товщині металу більше 10 мм необхідна V - подібна обробка кромки з кутом розкриття 60° і притуплення 1 – 2 мм. При зварюванні алюмінію потрібен попередній підігрів металу до температури $100 - 200^\circ\text{C}$

(особливо на початку шва). Діаметр електродів $d = 4 - 8$ мм, зварювальний струм $I = (45 - 55) d$ (табл.1.3).

Таблиця 1.3 – Орієнтовні режими ручного дугового зварювання алюмінію та його сплавів

| Товщина металу, мм | Діаметр електрода, мм | Зварювальний струм, мм | Напруга, В | Ширина шва, мм |
|--------------------|-----------------------|------------------------|------------|----------------|
| 6 | 5 | 280...300 | 30...34 | 10 |
| 8 | 6 | 300...320 | 30...34 | 14 |
| 10 | 6...7 | 320...380 | 30...34 | 16 |
| 12 | 8 | 350...450 | 32...36 | 20 |
| 14 | 8 | 400...450 | 32...36 | 22 |
| 16 | 8 | 400...450 | 32...36 | 24 |
| 18 | 8...10 | 450...500 | 32...36 | 26 |
| 20 | 8...10 | 500...550 | 32...36 | 28 |

Для поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань здійснюють проковування або прокатування роликками шва в холодному та теплому станах. При зварюванні термічно зміцнених сплавів можна підвищити міцність зварного з'єднання до рівня основного металу наступною (після зварювання) термообробкою зварного вузла (загартування та штучне старіння).

1.2.3 Ручне дугове зварювання електродом, що не плавиться

При зварюванні вольфрамовим електродом, що не плавиться, стикових з'єднань без оброблення кромки для виключення оксидних включень у металі

швів необхідно застосовувати підкладки раціональної форми. Для зварювання застосовуються підкладки без канавки та підкладки з канавками різних форм – прямокутної, складного профілю. При зварюванні на підкладці з канавкою складного профілю торцеві поверхні кромки при розплавленні листів повністю виводяться в проплав і можливість утворення включень оксидних плівок знижується.

При зварюванні стикових з'єднань залежно від товщини металу, що зварюється, і прийнятого методу зварювання використовують різні методи підготовки кромки. Крім механічної обробки кромки деталей, що зварюються для надання їм раціональної форми, що полегшує виконання з'єднань, підготовка деталей до зварювання включає себе очищення їх поверхні від забруднень і оксидів. Сліди масла, фарби та інші забруднення повинні бути видалені або з усієї поверхні деталей, що зварюються, або з їх кромки на певній ширині (20 – 30 мм) вздовж стику. Для часткового або місцевого знежирення кромки протирають ганчіркою, змоченою в бензині, ацетоні та інших рідинах, що добре розчиняють жирові забруднення. У зв'язку з порівняно великою трудомісткістю операцій місцевого знежирення та необхідністю застосування легкозаймистих рідин (бензин, ацетон та ін) у виробництві зазвичай виконують загальне знежирення всієї поверхні деталей у ваннах лужного складу.

Після знежирення деталі піддають спеціальній обробці для видалення поверхневої оксидної плівки: механічним шляхом – зачисткою поверхні деталей наждачним папером, шабером або дротяною щіткою, а також хімічним шляхом – травленням деталей у спеціальних розчинах. При масовому виробництві механічне зачищення кромки не рекомендується у зв'язку з недостатньо високою продуктивністю процесу та невисокою якістю підготовки поверхні.

При зварюванні алюмінієвих сплавів в середі аргону відпадає необхідність застосування флюсів. Це значно спрощує процес і уможливорює

зварювання сполуки, небезпечних у корозійному відношенні через труднощі видалення залишків флюсів.

Для зварювання алюмінієвих сплавів серед захисних газів застосовують аргон першого сорту чи суміші аргону з гелієм. При цьому руйнування оксидної плівки відбувається в результаті катодного розпилення, у зв'язку з чим зварювання алюмінієвих сплавів в аргоні бажано вести на постійному струмі зворотної полярності.

При зварюванні вольфрамовим електродом внаслідок великого виділення теплоти на аноді спостерігається надмірний його перегрів та підвищена витрата. Для зменшення витрати вольфраму необхідне живлення дуги змінним струмом. При цьому напівперіоди, коли катодом є вольфрам, відбувається його охолодження, а напівперіоди, коли катодом є деталь, відбуваються руйнування і видалення оксидної плівки. При зварюванні на змінному струмі вдається зберегти досить високу стійкість електрода і досягти задовільного руйнування оксидної плівки деталі.

При зварюванні вольфрамовим електродом і живленні дуги змінним струмом умови горіння дуги напівперіоди різної полярності відрізняються. У напівперіод, коли вольфрам є катодом, завдяки потужній термоелектронній емісії провідність дугового проміжку зростає, збільшується струм та знижується напруга дуги.

У напівперіод, коли катодом стає виріб (холодний катод), провідність проміжку дуги знижується, зменшується струм дуги і зростає напруга. В результаті цього синусоїда струму дуги виявляється несиметричною, що рівносильно дії ланцюга дуги деякої постійної складової струму. Завдяки цьому процес успішно використовують при зварюванні металу товщиною 0,8 - 3,0 мм.

Застосування імпульсної дуги для зварювання алюмінієвих сплавів розширило можливості зварювання електродом, що не плавиться. При використанні імпульсної дуги на змінному струмі вдається зварювати алюмінієві сплави товщиною 0,2 - 1,0 мм зварюють із застосуванням дроту

присадки діаметром 0,6 - 2,6 мм на сталевих підкладках з формуючими канавками. При зварюванні імпульсною дугою алюмінієвих сплавів товщиною 0,2 - 1,0 мм викривлення кромки знижується на 40 – 60 %.

Для виробів великої товщини використовувати звичайний процес зварювання вольфрамовим електродом недоцільно через необхідність застосування багатощарових швів та зниження продуктивності. Для зварювання виробів великої товщини потрібно підвищити стійкість вольфрамових електродів. Вольфрамові електроди марки ВІ з добавками ітрію відрізняються підвищеною стійкістю. Допустимий зварювальний струм для електродів цієї марки діаметром 10 мм досягає 800 – 1000 А. З появою зазначених електродів відкрилася можливість зварювати за один прохід високоамперною дугою метал товщиною до 20 мм.

При зварюванні вольфрамовим електродом з дугою, що безперервно горить, не вдається отримати якісних з'єднань з металу товщиною менше 0,8 мм. Це обумовлено тим, що з струмі менше 10 А порушується стійкість горіння дуги. Через блукання дуги виникає необхідність зварювання при короткому дуговому проміжку, через що дуже часто спостерігається коротке замикання електрода на сталь.

1.2.4 Зварювання електродом, що плавиться

Даний спосіб застосовують для зварювання деталей з алюмінію та його сплавів товщиною понад 4 мм. Надійне руйнування плівки оксидів при такому способі автоматичного та напівавтоматичного зварювання в аргоні, гелії або суміші цих газів досягається лише при живленні дуги постійним струмом зворотної полярності. Механізм видалення оксидної плівки в цьому випадку полягає в руйнуванні та розпиленні її важкими позитивними іонами, що бомбардують катод (використовується так званий ефект катодного

розпилення). Недоліком способу зварювання алюмінію електродом, що плавиться, є деяке зниження в порівнянні зі зварюванням неплавлячим електродом механічних властивостей. Так, для сплаву АМгб зниження межі міцності може досягати 15 %. Зменшення міцності шва пояснюється тим, що електродний метал, проходячи через дуговий проміжок, перегрівається більшою мірою, ніж присадковий дріт при зварюванні електродом, що не плавиться. До переваг цього способу зварювання відносяться добре перемішування зварювальної ванни і у зв'язку з цим краще очищення шва від оксидних включень, а також висока продуктивність.

1.2.5 Зварювання під/по флюсу

Вироби з алюмінієвих сплавів товщиною 10 – 30 мм можна зварювати на змінному струмі електродом, що плавиться під шаром флюсу. Для цього застосовують спеціальний флюс ЖА - 64, що складається з кріоліту, хлориду калію, хлориду натрію та кварцового піску. Флюс руйнує оксидну плівку, затримує охолодження та затвердіння зварювальної ванни – з неї виходить водень, зменшується пористість. Однак цей спосіб поширення не отримав, так як більшість флюсів з солями хлору та фтору гігроскопічні (легко вбирають вологу) та електропровідні. Гігроскопічність флюсів збільшує кількість водню у шві, через електропровідність флюсів погіршується горіння дуги.

Кращі результати отримують при дуговому зварюванні електродом, що плавиться по флюсу, який насипають на поверхню тонким шаром, що не закриває дугу. Зварювання ведуть по постійному струмі зворотної полярності при вильоті електрода 50 – 60 мм зазору між деталями 1 – 2 мм флюсової подушки або сталевих підкладках. Застосовують плавлені флюси АН – 11,

УФОК – А1, МАТИ – 10, основними компонентами яких є хлориди та фториди натрію, калію та літію.

1.3 Зварювання тертям з перемішуванням алюмінію та алюмінієвого сплаву

1.3.1. Перевага процесу зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП)

Проблема зварювання алюмінієвого сплаву традиційним способом (клевка, дугове зварювання електродом, що плавиться в середовищі інертного (MIG) або активного газу (MAG), ручне зварювання неплавлячими вольфрамовими електродами з середовищі захисного газу - аргона (TIG), а також високоенергетична) полягає в схильності металу шва з високою теплопровідністю, коефіцієнтом теплового розширення в порівняно широкому діапазоні температури застигання і розчинністю водню в алюмінії в розплавленому стані вдвічі більшій усадці при затвердінні, руйнуванні в зонах теплового впливу по стиках деталей та утворенню дефектів: рихлості, ланцюжків пір у шві та біля зони сплавлення, тріщин у високотемпературній ЗТВ, включень міцної оксидної плівки та феросплавів у шві [4,5]. Загальною проблемою зварювання листових конструкцій внаслідок великої ймовірності розриву між листами через неправильне кріплення, неточності процесів виробництва листів та іншого є вихід матеріалу зварного шва із зони обробки та ефективної площі поперечного перерізу зварної зони з подальшим зменшенням розриву та дефектністю зварного шва [6].

Оптимальним варіантом вирішення зазначеної проблеми є використання порівняно нового зварювального процесу - зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП), реалізованого у Великій Британії [7] в 1990-х роках у Технологічному інституті зварювання (TWI - Technological Welding Institute) [4].

Зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП) є одним із перспективних способів отримання нероз'ємних сполук у твердій фазі. При цьому принцип утворення шва заснований на нагріванні невеликого об'єму металу до пластичного стану за рахунок тертя, перемішування його по всій товщині кромки, що зварюються, і деформування в замкнутому просторі [8]. Тому процес ЗТП має низку істотних переваг у порівнянні зі зварюванням плавленням [9,10]:

- формування шва у твердій фазі дозволяє уникнути утворення гарячих тріщин, макровключень оксидної плівки, пір та інших дефектів, зумовлених розплавленням та кристалізацією металу при зварюванні плавленням;

- нагрівання металу в зоні зварювання за рахунок тертя виключає ультрафіолетове випромінювання дуги, виділення диму та парів металу та знижує рівень шуму;

- формування нероз'ємного з'єднання без розплавлення металу можна здійснювати без застосування захисного газу та виконувати зварювання у будь-якому просторовому положенні;

- відсутність дугового розряду та розплавленого металу виключає втрату легуючих елементів у шві та необхідність підвищення їх вмісту в ньому внаслідок застосування присадних матеріалів;

- перемішування пластифікованого металу при надмірному тиску в обмеженому обсязі призводить до дроблення макрочастинок оксидних включень, при цьому вимоги до попередньої підготовки поверхонь кромки, що зварюються, знижуються;

- проникнення наконечника інструменту на всю глибину стику дозволяє зварювати метал різної товщини без спеціальної обробки кромки;

- протікання процесу зварювання за більш низьких температур призводить до зменшення ступеня розміщення матеріалу та рівня залишкових деформацій у конструкціях;

- підвищення ефективності використання енергії при ЗТП та зменшення температури нагріву металу в зоні зварювання знижують енергоємність процесу порівняно зі зварюванням плавленням;

- можливість легкої автоматизації процесу зварювання, що забезпечує стабільну якість швів без високої кваліфікації оператора.

Завдяки таким перевагам процес ЗТП відкриває ширші технологічні можливості для виготовлення зварних конструкцій зі сплавів, які з'єднати зварюванням плавленням неможливо через утворення гарячих тріщин у швах; забезпечення більш високого рівня міцності зварних з'єднань термічно зміцнюваних та нагартованих алюмінієвих сплавів; сполуки метастабільних сплавів, одержаних швидкою кристалізацією металу з розплаву, композитів та наноматеріалів; одержання зварних вузлів, які недоцільно економічно або неможливо практично пресувати або відливати цілком, із окремих профілів, що серійно виготовляються; виготовлення практично без деформацій великих легковажних панелей у судно-, авіабудуванні, виробництві залізничних платформ тощо.

1.3.2 Сутність та особливості процесу ЗТП

ЗТП є одним з різновидів зварювання тиском. Від інших видів зварювання тиском зварювання тертям відрізняється способом нагрівання деталей або способом введення тепла в деталі, що зварюються. Механічне з'єднання конструкційних металевих елементів ЗТП здійснюється за допомогою впливу на кромки деталей, що з'єднуються, спеціального обертового інструменту, який переводить метал в області стику в пластичний стан і перемішує його. У базовому процесі ЗТП інструмент, що обертається (рис.1.1, а), що містить корпус, робочий стрижень з різним рельєфом поверхні і опорний борт, повільно занурюється в стик деталей на глибину,

приблизно рівну товщині кромки, що з'єднуються; при цьому опорний бурт спирається на поверхню кромки. Матеріал кромки за рахунок теплоти, що виділяється при терті, нагрівається до пластичного стану, внаслідок чого зменшується зусилля, що діє інструмент. При поступальному переміщенні інструменту, що обертається, по стику пластичний перебіг виносить матеріал у зону, що звільняється позаду рухомого інструменту (рис. 1.1, б). У зв'язку з асиметрією структури швів у поперечному перерізі зварних з'єднань, отриманих ЗТП, розрізняють бік набігання, де напрямок обертання інструменту збігається з напрямком зварювання, і протилежний відходу [14].



а)



б)

а – схематичне зображення процесу [4]; б - зварний шов алюмінієвих листів [12,13]

Рисунок 1.1 - Зварювання тертям з перемішуванням

Фізична сутність ЗТП полягає у нагріванні деталей шляхом безпосереднього перетворення механічної енергії на теплоту завдяки роботі сил тертя. При зближенні поверхонь деталей, що підлягають зварюванню, до дуже малих відстаней (сумірних міжатомними) між ними утворюються металеві зв'язки, за своєю природою і за величиною аналогічні силам взаємодії між атомами в основному матеріалі. Отримання міцного зварного з'єднання відбувається за умови енергійного пластичного деформування тих обсягів металу деталей, що з'єднуються, які розташовані поблизу взаємодіючих поверхонь. Зварне з'єднання при ЗТП утворюється в твердій фазі і без розплавлення металу деталей, що зварюються.

Одним з найважливіших факторів, що найбільш помітно впливають на структуру шва та формування з'єднання при ЗТП, є конструкція інструменту. Елементи інструменту – робочий стрижень та опорний бурт – контактують із матеріалом, нагрітим з допомогою роботи сил тертя до пластичного стану, і формують потоки пластичного течії. Сам інструмент та особливо його робочий стрижень піддаються високим термомеханічним навантаженням. На розігрітий робочий стрижень одночасно діють момент, що крутить, і знакозмінні циклічні згинальні сили [12].

Основними параметрами процесу ЗТП є частота відносного обертання деталей, що зварюються, величина осьового зусилля і осадку (грата) при нагріванні, зусилля і тривалість докладання зусилля проковки. Частота відносного обертання деталей, що зварюються, і величина осьового зусилля при нагріванні визначають потужність нагріву, а в поєднанні з величиною осадку (грата) при нагріванні – величину введеної енергії при нагріванні. Кількість зварного з'єднання залежить від усіх основних параметрів. Величину осадку при нагріванні часто замінюють тривалістю нагрівання, оскільки ці температурні властивості практично прямо пропорційні. Чисельні значення основних параметрів процесу залежать від властивостей матеріалів деталей, що зварюються і від визначених експериментально розмірів їх перерізів.

Міцність зварного з'єднання, що утворюється, безпосередньо пов'язана з величиною пластичного деформування кінців зварюваних деталей, мірою якої може служити зближення деталей при витісненні металу ґрат, і режимом проковки. Ступінь пластичного деформування залежить в основному від введеної в деталі енергії, що зварюються, і величини осьового зусилля.

ЗТП завдяки обмеженому простору деформації в поєднанні з обмеженим нагріванням зони зварювання, твердим станом матеріалу зварного шва успішно застосовується і має наступні переваги:

- безпека для навколишнього середовища, оскільки не використовуються шкідливі гази;
- можливість зварювання матеріалів, недоступних для традиційних способів зварювання; висока міцність зварного шва;
- відсутність необхідності у присадному дроті;
- низькі залишкові напруги; дрібний розмір зерна зварювального шва; мала витрата енергії;
- відсутність необхідності у підготовці кромки під зварювання, обробці шва після неї та механічній обробці після зварювання;
- практично повна відсутність короблення та термічних деформацій;
- зменшення виробничого циклу на 50 – 75 % проти звичайними методами зварювання. При правильно вибраних режимах статистична міцність при розтягуванні та згинанні, відносне подовження, ударна в'язкість, міцність втоми, тобто майже всі основні механічні показники металу стику, знаходяться на рівні відповідних показників основного металу деталей або близькі до них.

Дослідження та випробування зварного з'єднання ЗТП показали їх значну перевагу перед болтовими та заклепочними з'єднаннями за рахунок збільшення міцності та жорсткості конструкції, зниження маси деталі та вартості її виготовлення.

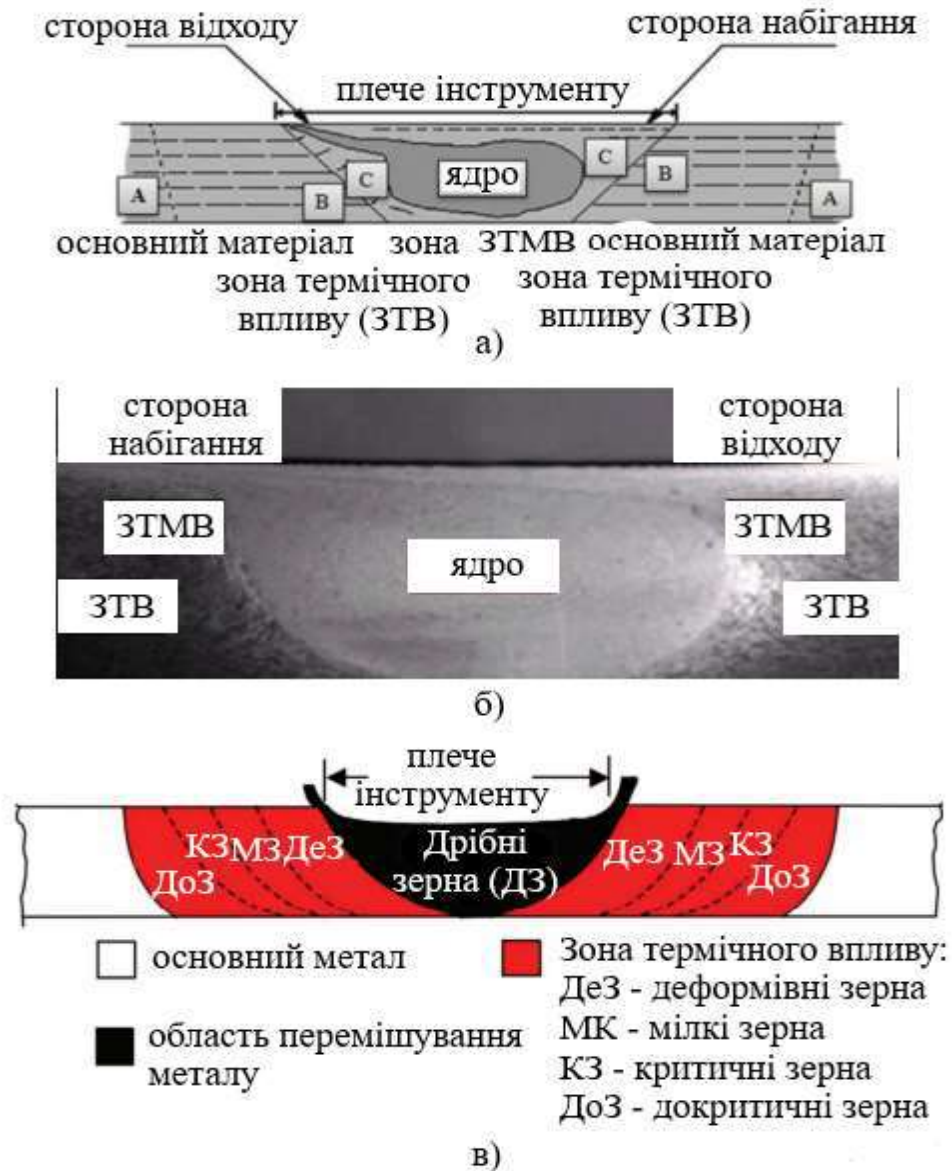
1.3.3 Формування структури зварного шва у процесі ЗТП

Твердотільний характер процесу ЗТП у поєднанні незвичайним інструментом та асиметричним характером з зварювального шва (ЗШ) призводить до дуже різних мікроструктур внаслідок кількох одночасно протікають термомеханічних процесів [12]. На мікроструктуру ЗШ впливає швидкість нагрівання, охолодження, пластичної деформації та перемішування, явища динамічної рекристалізації, а також механічна цілісність сполуки. Типовий переріз ЗТП складається з декількох зон (рис.1.2) з витягнутою в напрямку обертання інструменту та пластичного перебігу матеріалу формою [15]:

- зона перемішування (ядро та динамічна зона рекристалізації) з сильно деформованими зернами, що приблизно відповідає розташуванню робочого стрижня під час зварювання. Зерна в зоні перемішування рівноосні і часто на порядок менше, ніж зерна в основному матеріалі. Унікальна особливість зони перемішування полягає у наявності кількох концентричних кілець. Точне розташування даних кілець досі не встановлено, хоча відоме число, розмір та текстура зерен;

- зона поверхні зварного шва, матеріал якої захоплюється плечем від «сторони відходу» ЗШ навколо задньої частини інструменту та виходить на «стороні набігання»;

- термомеханічна зона (ТМЗ), що знаходиться по обидва боки руху, характеризується нижчими напругами, температурами і меншими їх впливами на структуру шва. Незважаючи на те, що мікроструктура ТМЗ деформована, на відміну від зони перемішування, вона більш схожа на структуру основного матеріалу. ЗТМВ технічно відноситься до всієї області, що деформується, і часто використовується для опису будь-якої зони, що не відноситься до «стороні набігання» і поверхневій зоні;



а – схематичне зображення зон ЗШ [16]; б – поперечний переріз ЗШ алюмінієвих листів [16]; в – мікроструктурні зони ЗШ [17]

Рисунок 1.2. - Зварювання тертям з перемішуванням

- навколошовна зона (ЗТВ), що є загальною для всіх процесів зварювання. Матеріал її не піддається пластичній деформації, але знаходиться під впливом теплового впливу процесу (температура нижче, ніж ЗТМВ), що призводить до деяких мікроструктурних змін, особливо якщо мікроструктури термічно нестійкі.

З наукових публікацій встановлено чотири регіони ЗТВ: деформовані зерна (ДеЗ), мілкі зерна (МЗ), критичні зерна (КЗ) та докритичні зерна (ДоЗ) (рис. 1.2, в).

Одним із ключових факторів, що визначають спільні структури, є температура, що утворюється при зварюванні. Визначення температури в зварних з'єднаннях представляє інтерес для розуміння спільної структури та властивостей. Для вимірювання температури поверхні можуть бути використані пірометри; при ЗТП сталей видимі зміни кольору можна спостерігати неозброєним оком. Поверхнева та внутрішня температури можуть бути виміряні за допомогою термопар, що прикріплюється на поверхні або всередині шляхом вставки через просвердлені отвори. У таких місцях, як ядро і області під плечем, де рухається/тече метал, неможливо безпосередньо виміряти температуру за допомогою термопар, так само, як і пірометрів, тому що вони знаходяться поза полем зору. Цю проблему дослідники вирішують за допомогою комп'ютерного моделювання, але поки що малоефективно [17].

1.4 Обґрунтування застосування зварювання тертям з перемішуванням для виготовлення силових фрагментів корпусів

При виготовленні силових фрагментів корпусів широко використовуються напівфабрикати у вигляді листів, плит, смуг, профілів, прутків тощо з міцних і пластичних алюмінієвих сплавів, що деформуються, АМг5 і АМг6 [18]. Для отримання нероз'ємних з'єднань в більшості випадків застосовуються різні способи зварювання плавленням, при яких зварний шов утворюється в результаті розплавлення певного обсягу матеріалів, що з'єднуються, і присадкового дроту в загальній зварювальній ванні і подальшої їх кристалізації в середовищі захисного інертного газу. Це

призводить до структурних перетворень у металі шва і ділянок, що примикають до нього, а також утворенню дефектів у вигляді пор, макровключень оксидної плівки і гарячих тріщин, внаслідок чого знижуються фізико-механічні властивості зварних сполук [19-21].

Уникнути розплавлення металу в зоні формування шва і максимально зберегти у зварних вузлах властивості застосовуваних при їх виготовленні напівфабрикатів вдається при використанні способу зварювання у твердій фазі тертям з перемішуванням (ЗТП) [22,23]. В результаті нагрівання алюмінієвого сплаву за рахунок тертя в зоні зварювання тільки до пластичного стану, інтенсивного перемішування, деформування в обмеженому обсязі та ущільнення його робочими поверхнями інструменту у шві формується дрібнодисперсна структура, а основний метал (ОМ) у ЗТВ розміщується меншою мірою, ніж при зварювання плавленням. Завдяки цьому підвищуються межа міцності таких сполук при одноісному розтягуванні та міцність втоми їх при циклічних навантаженнях, а також знижуються рівні залишкових напруг і деформацій [24 – 31].

Крім того, утворення нероз'ємного з'єднання в твердій фазі без розплавлення кромки, що зварюються, дозволяє уникнути окислення їх в процесі зварювання. А інтенсивне деформування і перемішування пластифікованого металу сприяє механічному руйнуванню і диспергуванню вихідної оксидної плівки, що знаходиться на них, миттєво утворюється на алюмінієвих сплавах. Тому у швах, отриманих ЗТП, відсутні дефекти у вигляді макровключень оксидної плівки, які дуже часто утворюються при АДЗНЕ. Відсутність розплавленого металу, в якому розчинність водню різко підвищується, дозволяє уникнути додаткового насичення зони зварювання за рахунок міграції цього газу з прилеглих поверхневих шарів металу. А перемішування та ущільнення металу, що зварюється, в зоні з'єднання забезпечує формування без пористих швів. Оскільки при ЗТП процеси плавлення та кристалізації металу відсутні, а шов формується в твердій фазі, то вдається повністю уникнути утворення найбільш небезпечних і

неприпустимих для конструкцій відповідального призначення дефектів у вигляді гарячих тріщин, що утворюються в процесі кристалізації металу розплавленого в місці скупчення легкоплавких евтектичних включень.

Висновки: При ЗТП алюмінієвого сплаву АМг6 в результаті інтенсивної пластичної деформації металу під буртом інструменту і в ядрі шва формується дезорієнтована однорідна структура з розміром зерна 3 – 4 мкм і дисперсними (не більше 1 мкм) фазовими виділеннями. У зонах сполучення шва з ОМ відбувається подовження деяких зерен до 6 – 7 мкм та їх викривлення у напрямку переміщення пластифікованого металу.

Застосування ЗТП забезпечує формування нероз'ємного з'єднання з мінімальним рівнем концентрації напруг у місцях переходу від шва до ЗМ і дозволяє уникнути у швах дефектів у вигляді пор, макровключень оксидної плівки та гарячих тріщин, обумовлених розплавленням та кристалізацією металу при зварюванні плавленням.

При ЗТП термічно не зміцнюваного сплаву АМг6 завдяки деформаційному зміцненню металу, зумовленому подрібненням зерен, його твердість у зоні з'єднання підвищується. Тоді як при зварюванні плавленням твердість металу в цій зоні знижується внаслідок формування литої крупнозернистої дендритної структури швів. Тому межа міцності зразків, отриманих ЗТП, при одновісному розтягуванні на 20 МПа вище, ніж зразків без посилень та проплавів швів, зварених АДЗНЕ. Показники опору руйнування зразків при одночасному їх згинанні та розтягуванні свідчать про більш високу стійкість сполук, отриманих у твердій фазі, до зародження та поширення тріщин.

Завдяки формуванню швів у твердій фазі при більш низьких порівняно зі зварюванням плавленням температурах, максимальний рівень розтягуючих залишкових поздовжніх напруг у зварних з'єднаннях сплаву АМг6, отриманих ЗТП, на 25 % нижче, ніж при АДЗНЕ.

Мета дипломної роботи – розробити технологію зварювання тертям з перемішуванням фрагментів із сплаву АМг6 корпусу зерновозів.

2 КОНСТРУКЦІЯ ФРАГМЕНТІВ ІЗ СПЛАВА АМГ6 КОРПУСУ ЗЕРНОВОЗІВ

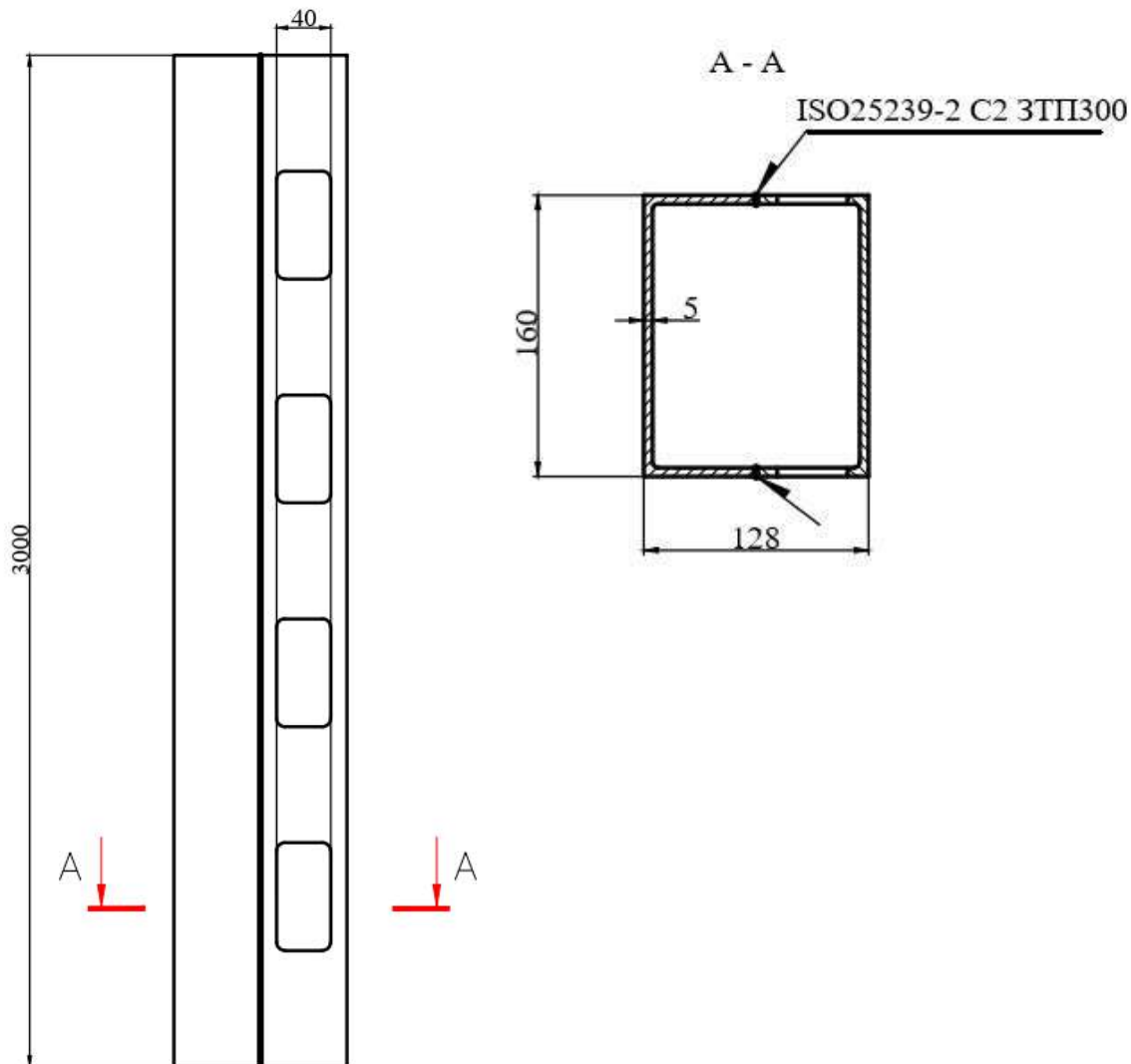


Рисунок 2.1 – Балка

Основними конструктивними елементами зерновозу є обичайка, перегородки, днища та балка. Обичайку напівпричепа виготовляють з листового алюмінієвого прокату сплаву АМг6 (листовий прокат 7000x1500x5 мм) шляхом згинання листів, зварювання повздовжніх швів і подальшого стикування для зварювання кільцевих швів.

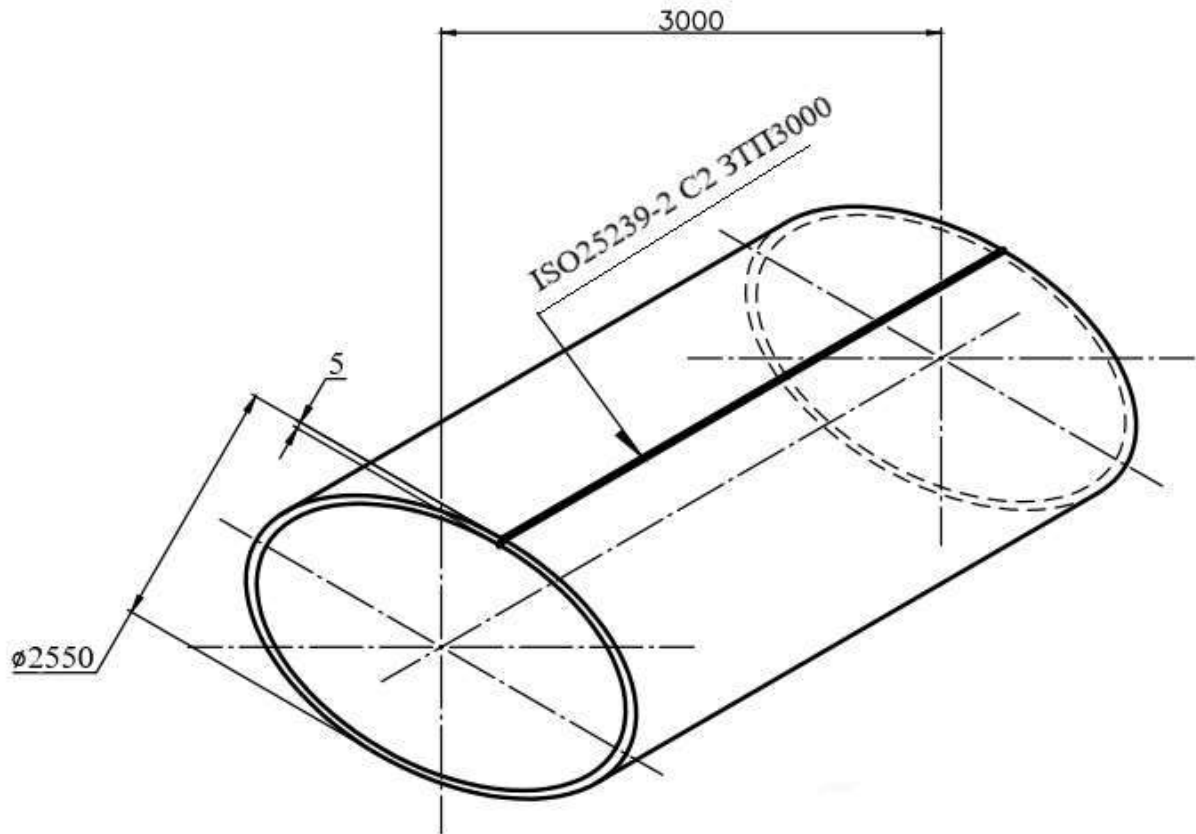


Рисунок 2.2 – Фрагмент цистерни зерновою

Оболонки алюмінієвих цистерн виготовляють зварюванням тертям з перемішуванням за допомогою станції, виготовленою компанією ESAB.

Технічні вимоги до фрагментів:

1. Зварювальний шов – ЗТП. Зварювання сполучених деталей виконувати суцільним швом.
2. Заварити (за наявності) технологічний отвір на початку шва.
3. Неуказанні граничні відхилення розмірів, допуски форми та розташування поверхонь по ОСТ 1 00022-80.
4. Непровари, тріщини не допускається.
5. Контроль якості зварювання ультразвуковим методом.

3 ФОРМУВАННЯ ЗВАРНОГО ШВА В ПРОЦЕСАХ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ

3.1 Схема формування зварного шва

ЗТП є процесом з'єднання матеріалів у твердій фазі, при якому спеціальний інструмент, що обертається, конструктивно складається з плоскої або профільованої основи (бурта) і розташованого на ньому наконечника у вигляді штиря (піна), що виготовляється з різним профілем, рухається вздовж поверхонь стиків двох твердих деталей (рис. 3.1).

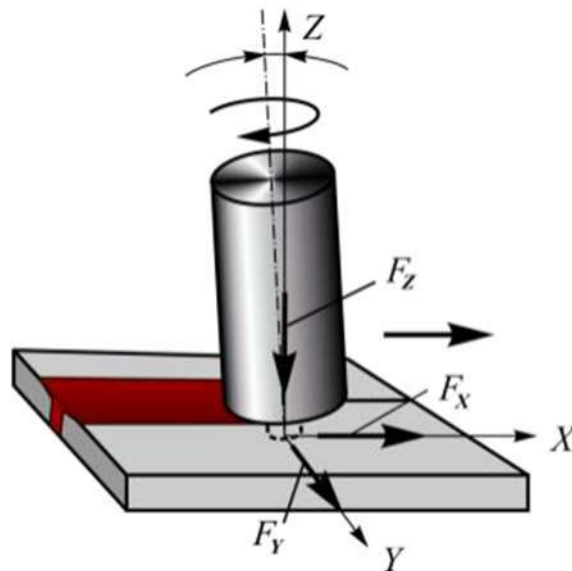
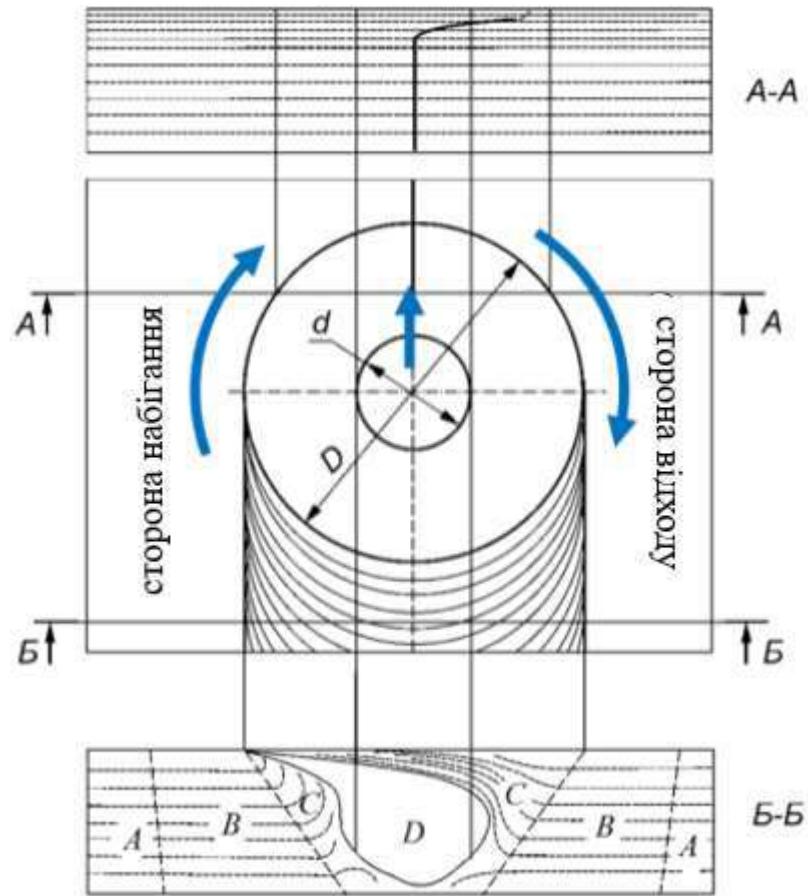


Рисунок 3.1 – Принципова схема зварювання тертям із перемішуванням

Бурт входить у зіткнення з верхньою стороною деталей, що з'єднуються, з деяким тиском. Тертя бурта о поверхню деталей, викликає тепловиділення, за рахунок якого матеріал розм'якшується. Тиск бурта інструменту на деталі, що з'єднуються, в зоні стику деталей викликає сильну пластичну деформацію і протягом пластифікованого металу, що перемішується профільованим наконечником. При ЗТП формується шов, у структурі якого можна виділити кілька основних зон: «ядро» зварювання, що складається з термопластичного деформованого матеріалу, перенесеного

виступом інструменту, зону термопластичної деформації та зону термічного впливу.

Схема формування зварного шва при перемішуванні зварювання тертям із зазначенням типових зон впливу представлені на рисунку 3.2.



A – основний матеріал; B – зона термічного впливу; C – зона термомеханічної дії; D – зона перемішування

Рисунок 3.2 – Формування шва при ЗТП із зазначенням зон у його перерізі

Зовнішній вигляд зварного шва представлено рисунку 3.3. Типовий поперечний переріз з'єднання та характерна мікроструктура поперечного перерізу шва, отриманого ЗТП, показано на рисунку 3.4.[32-36]

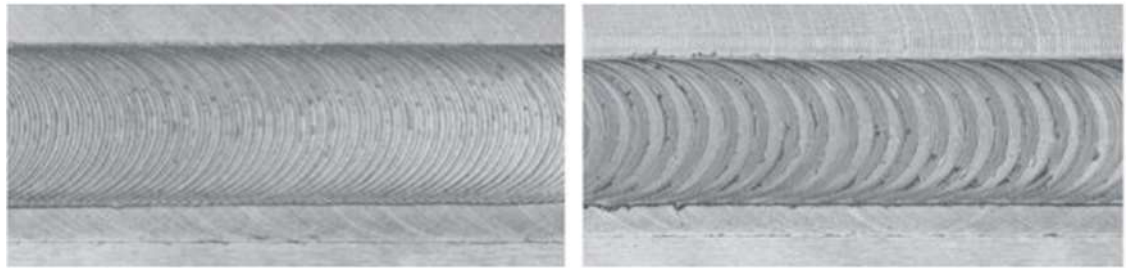
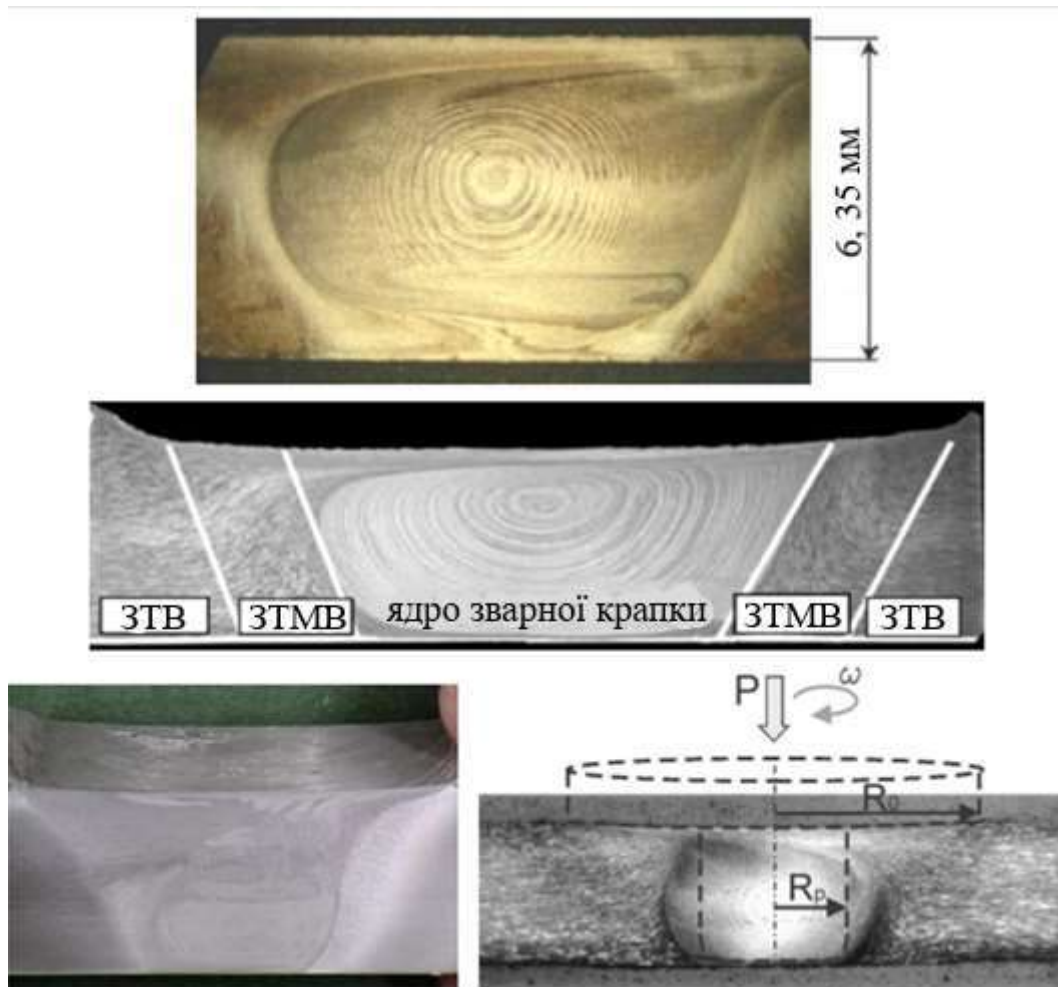


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд зварного шва (вид зверху)



ЗТВ – зона термічного впливу; ЗТМВ – зона термомеханічного впливу

Рисунок 3.4 – Основні зони перерізу зварного шва ЗТП

Центральна зона перемішування (ядро зварювання) має дрібні рівноосні зерна. Така структура утворюється в результаті рекристалізації при дії інтенсивних пластичних деформацій та високих температур. У цій зоні величина зерна мало відрізняється від вихідного матеріалу. Макроструктура

зони перемішування часто має виражені «кільця» (цибулинна структура) «закрученого» матеріалу, що відчуває найсильніше спотворення, і є наслідком даного способу.

Зона термомеханічного впливу лежить по обидва боки зони перемішування. Пластична деформація і температура в цих зонах нижче, ніж у зоні перемішування, наслідком чого є утворення структури, що має ділянки дрібних та порівняно великих зерен, оскільки ця зона рекристалізована лише частково. У зонах термічного впливу зерна мають великі розміри, оскільки їх матеріал лише піддається впливу підвищених температур за відсутності пластичних деформацій, що супроводжується зростанням зерна. Матеріал у цій зоні має найнижчі властивості міцності.

Зона термічного впливу формується в умовах менших температур та температурних градієнтів, ніж при зварюванні плавленням, що позитивно позначається на її структурі. Зростання зерен виражене значно меншою мірою.

Асиметрія поперечної структури шва зварного з'єднання, отриманого зварюванням тертям з перемішуванням, обумовлена взаємно протилежним рухом частин інструменту праворуч і ліворуч від його осі обертання (по ходу руху і проти ходу руху). Розрізняють бік набігання, де напрямок обертання інструменту збігається з напрямком лінії зварювання, і протилежний бік відходу.

3.2. Фізико-механічні явища в зоні зварювання тертям з перемішуванням

Зварювання тертям з перемішуванням відноситься до процесів з'єднання матеріалів у твердій фазі і тому позбавлена недоліків, пов'язаних з

розплавленням та випаром металу. Незважаючи на простоту, процес ЗТП насправді складний. У ньому взаємодіють такі явища, як:

- тепловиділення при терті;
- утворення та руйнування металевих зв'язків між сполученими поверхнями інструменту та зварюваних заготовок у процесі їх відносного руху;
- швидке нагрівання та охолодження об'ємів металу при великих тисках;
- пластична деформація;
- деформаційне зміцнення;
- рекристалізація металу та ін.

ЗТП є результатом складної взаємодії безлічі одночасних термомеханічних процесів. Ці процеси впливають на:

- швидкості нагрівання та охолодження;
- пластичну деформацію та перебіг матеріалу;
- динаміку рекристалізації;
- механічна цілісність з'єднання.

Відмінною особливістю технології ЗТП від інших методів зварювання металів є той факт, що з'єднання матеріалів здійснюється без їхнього плавлення. Тепло, що генерується тертям обертового робочого стрижня інструменту з поверхнями, що зварюються, розм'якшує матеріал заготовок. Внаслідок додаткового обертання осевого тиску і поступального руху інструменту, матеріал заготовок, перебуваючи в пластичному стані, зміщується, переходячи з фронтальної сторони інструменту до задньої, де, охолоджуючись, твердне.

Хоча за технологією ЗТП не відбувається розплавлення матеріалу, завдяки тепловому впливу, шов, сформований деформацією матеріалу в гарячому стані, має дрібнозернисту структуру без оксидування та пористості. Відсутність фази плавлення матеріалу в самій заготівлі дозволяє тим самим уникнути безлічі проблем, що виникають через такі зміни стану, як об'ємні

зміни та розчинність газу, які часто заважають процесу зварювання плавленням. Крім того, зниження температури зварювання дозволяє значно зменшити деформацію матеріалу та знизити залишкові напруги та покращити втомні характеристики.

3.3 Визначальні технологічні параметри та циклограми процесу зварювання тертям з перемішуванням

Сили тертя і напружений стан об'єму матеріалу, що деформується, залежать від закономірностей зміни фізико-механічних властивостей зварюваних матеріалів в процесі ЗТП, обумовлених такими факторами як температура, ступінь і швидкість деформації, геометрія інструменту і технологічні режими.

Параметри процесу зварювання залежать від типу матеріалів, що з'єднуються, фізико-механічних властивостей зварюваних матеріалів, товщини і конфігурації з'єднань. Як правило, технологічні схеми, режими процесу та інструментальне забезпечення відпрацьовуються експериментально.

Основними технологічними параметрами режиму зварювання, що впливають на якість зварного з'єднання при ЗТП, є (рис. 3.5):

- частота обертання інструменту (шпинделя) (n , об / хв);
- швидкість зварювання ($v_{св}$, м / хв);
- величина впровадження інструменту (h , мм), що враховує показники заглиблення піна та заглиблення бурта.

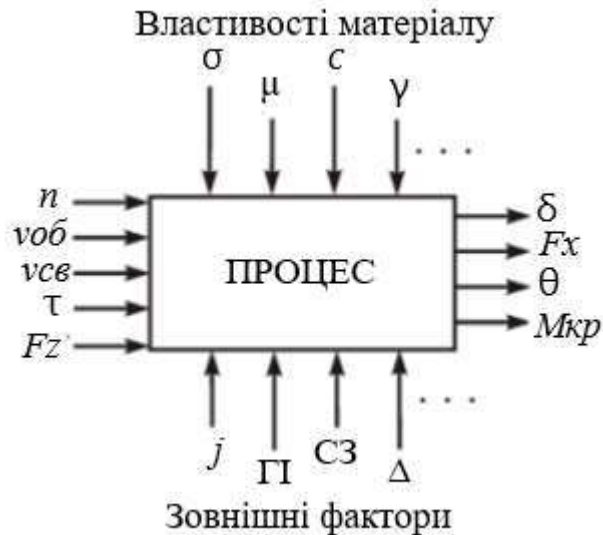


Рисунок 3.5 – Системне представлення процесу ЗТП

З цими параметрами очевидними залежностями пов'язані показники:

- кутова швидкість обертання інструменту (ω);
- подача інструменту (s , мм/про).

Умови робочого процесу, які суттєво впливають на якість ЗТП:

- геометрія інструменту (Γ): радіус бурта (R_0 , мм) та штиря (R_p , мм), форма бурта та штиря;

- сила, що діє на інструмент у процесі зварювання, яку прийнято розкласти на складові (F_x - сила опору переміщенню в напрямку зварювання (вздовж шва), F_y - сила, що діє перпендикулярно напрямку зварювання в площині паралельної або дотичної (при зварюванні криволінійних поверхонь) поверхням стику елементів (площина зварювання), F_z - сила, що діє в напрямку, перпендикулярному площині зварювання), з якою пов'язана нормальна сила притискання інструменту до листів, що зварюються ($P=F_z$, Н);

- кут нахилу інструменту (α);
- жорсткість технологічної системи (j), умови та сили закріплення ($СЗ$).

Властивості матеріалу, що зварюється, що впливають на процес ЗТП:

- межа плинності матеріалу на різних температурах (σ , МПа);

- температура плавлення ($T_{пл}$, ° C);
- енергія кристалізації;
- умовний коефіцієнт тертя (μ) та ін.

Швидкість переміщення інструменту у напрямі зварювання один із найважливіших параметрів. Малі швидкості зварювання можуть призвести до перегріву матеріалу, зміни умов термомеханічного впливу, збільшення зони термічного впливу і, як наслідок, зниження характеристик міцності зварного з'єднання.

Обертання інструменту забезпечує нагрівання матеріалу шляхом тепловиділення при терті та його перенесення в процесі руху інструменту вздовж шва від фронтальної до тилової частини зони зварювання. Збільшення частоти обертання інструменту підвищує тепловиділення, інтенсифікує перенесення матеріалу та його перемішування.

Лінійну та кутову швидкості переважно вибирають так, щоб досягати температури в зварному шві, яка нижче температури фазового переходу та/або точки твердофазного перетворення цих матеріалів. Для досягнення оптимальних умов зі збільшенням швидкості зварювання необхідно збільшувати швидкість обертання інструменту.

Для повної відсутності дефектів, а також для забезпечення всіх необхідних властивостей, надійності та технологічності необхідно строго вибирати режими, що оптимально підходять для певної продукції.

Температура в зоні зварювання (температура матеріалу та інструменту) визначається досяжними швидкостями, моментом обертання інструменту, умовами тертя та тепловиділення. Занадто низька температура матеріалу викликає високі силові впливи, що призводять до підвищеного зносу або руйнування інструменту. Занадто висока температура може призвести до дефектів, зумовлених плавленням матеріалу, фазового переходу та рекристалізації. Згідно з експериментальними результатами TWI, максимальна температура при зварюванні тертям з перемішуванням

становить близько 70 % значення температури плавлення та для алюмінію не перевищує 550 ° С.

Зусилля притискання та переміщення залежать від типу матеріалів, що зварюються, його товщини і швидкісного і температурного режиму зварювання. Очевидно, що величини діючих сил залежать від матеріалів заготовок, що зварюються, температур у зоні зварювання, швидкості зварювання, геометрії зварювального інструменту та його орієнтації (нахилу) щодо площини зварювання. За інших рівних умов значення сили зростають із зменшенням температури та збільшенням швидкості зварювання. Високі сили можуть призвести до руйнування інструменту.

Кут нахилу інструменту щодо нормалі до поверхні зварювання встановлюється в деяких випадках для покращення умов формування зварного з'єднання інструмент. Зазвичай такий нахил виробляється на кут 1,5 - 4,5 ° із забезпеченням нижчого положення краю бурта за її зоною. Нахил інструменту сприяє покращенню умов проковування шва буртом. Якщо кут нахилу занадто малий, це може призвести до утворення дефектів у вигляді непроварів на зовнішній поверхні шва, а якщо кут нахилу занадто великий, можливе порушення суцільності шва у кореня з утворенням тунельного дефекту.

Крутний момент, що забезпечується на шпинделі інструменту залежить від частоти обертання інструменту, зусилля притиску інструменту до заготовлі, коефіцієнта тертя межі текучості матеріалу. Величина моменту, що крутить, визначає потужність процесу зварювання ($N = (M_{кр} * n) / 9549$ [кВт]).

Глибина занурення інструмента визначається, як відстань від поверхні заготовки до нижнього положення піна торця. Практично важливими є глибина заглиблення бурта та положення кінця піна в корені зварного шва. Глибина занурення бурта інструменту визначається як відстань від поверхні заготовлі до нижнього положення торця бурта. Глибина занурення повинна

забезпечувати умови проковування шва на всю товщину матеріалу, що зварюється і виключення утворення дефектів.

Слабке притискання інструменту до поверхні деталей у процесі зварювання або недостатнє заглиблення бурта інструменту в матеріал, що зварюється, призводить до збільшення об'єму, який повинен заповнюватися пластифікованим металом при формуванні шва, і, як наслідок, до зниження надлишкового тиску і утворення несплошностей у швах. Крім того, при невеликому зануренні бурта інструменту в метал, що зварюється в зоні зварювання виділяється недостатня кількість тепла для забезпечення необхідного рівня пластифікації, необхідного для якісного формування шва, і на лицьовій поверхні шва утворюються дефекти у вигляді непролаву.

Показники процесу тертя в зоні контакту мінливі в ході нагрівання та розм'якшення матеріалу та є визначальними для термодформаційних змін у зоні зварювання. Процес тертя при обробці тиском можна розглядати як процес пластичної деформації приконттактних шарів, що протікає внаслідок пластичної деформації всього об'єму тіла. Сили тертя і напруги тертя залежать від властивостей міцності деформованого тіла і закономірностей зміни їх у процесі деформації. Закономірності зміни властивостей міцності приконттактних шарів залежать від тих же показників, що і міцнісні властивості в обсязі тіла, що деформується: від хімічного складу в об'ємі деформованого тіла; від хімічного складу, температури, ступеня та швидкості деформації; від форми зони деформації.

При зміні температури змінюються опір деформації, фізико-хімічні властивості окисних плівок, проміжних шарів між металом та інструментом. Встановлено, що з нагрівання коефіцієнт тертя спочатку зростає, досягає максимального значення, потім зменшується. Спочатку коефіцієнт тертя зростає у зв'язку з окисненням поверхні; у цьому інтервалі температур утворюється тверда окалина, що підвищує коефіцієнт тертя. При подальшому підвищенні температури відбувається розм'якшення окалини, і вона починає відігравати роль мастила. Максимального значення коефіцієнт тертя досягає

за температури приблизно 800 – 900 °С. Гаряча обробка тиском сталі відбувається при температурах вище 850 – 950 °С, переважно області зменшення коефіцієнта тертя.

Геометрія зварювального інструменту багато в чому визначає якість зварювання тертям перемішуванням та його продуктивність. Параметри геометрії інструменту, що складається з піна і бурта, повинні не тільки забезпечувати якість зварного з'єднання, створюючи необхідні умови термопластичної деформації та масопереносу, але і його стійкість, міцність, мінімальну силу впровадження інструменту при його введенні в стик. Матеріал інструменту повинен мати високу жаростійкість, твердість і жароміцність, опір зношування, низьку теплопровідність. Особливо це стосується матеріалів інструменту, призначеного для зварювання сталей, титанових і нікелевих сплавів та ін. Для підвищення якісних характеристик інструменту іноді використовують технології поверхневого зміцнення та нанесення покриттів. На поверхнях піна та бурта виконують спеціальні профільні нарізки, що забезпечують керування перебігом пластифікованого матеріалу. Форма бурта може бути плоскою, увігнутою чи конічною. Геометрія інструменту та параметри процесу зварювання оптимізується для кожного конкретного матеріалу (для кожної пари матеріалів, що зварюються).

До вихідних характеристик якості процесу зварювання тертям перемішуванням, контрольованим при відпрацюванні режимів та виконанні з'єднання, відносяться:

- міцність зварного з'єднання за різних видів навантаження;
- мікро та макроструктура шва;
- рівень та розподіл залишкової напруги;
- твердість поверхні;
- продуктивність процесу;
- стійкість інструменту;
- витрати на обладнання та обладнання та ін.

Факторами, що визначають міцність одержуваного шва, є температура та умови деформації матеріалу в зоні зварювання при цій температурі.

3.3.1 Спеціальні умови процесу ЗТП

ЗТП може виконуватися з присадним матеріалом, з додатковим нагріванням, із застосуванням інертних та легуючих середовищ, з механічною та зміцнювальною обробкою зварного шва.

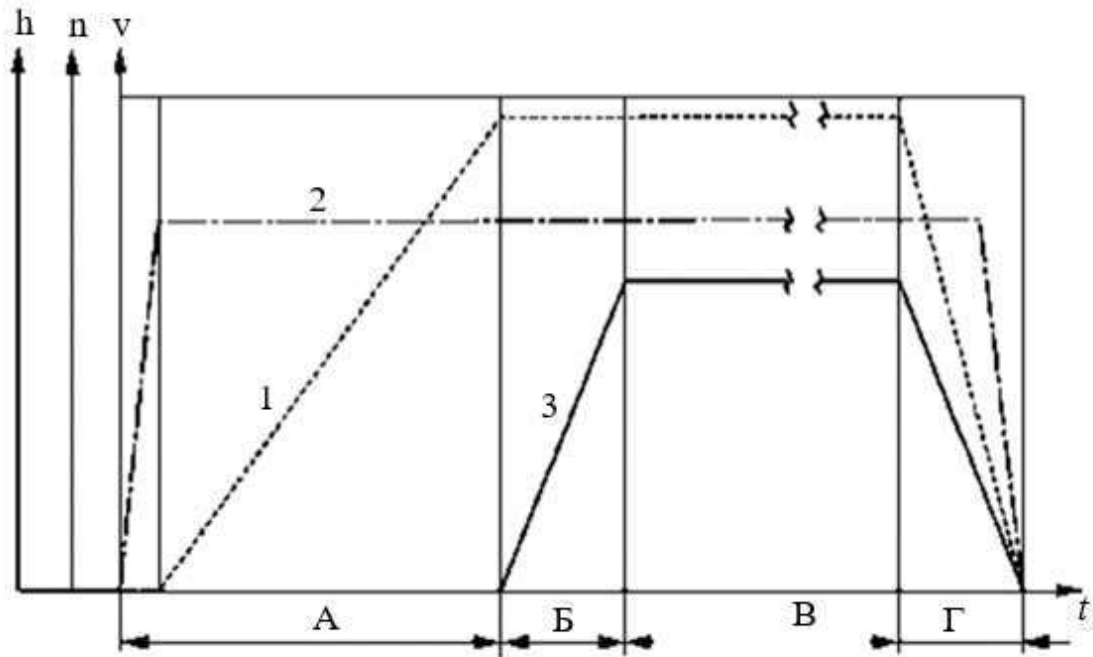
Попереднє нагрівання зони зварювання доцільно виконувати для матеріалів з відносно високими температурами плавлення, такими як сталі, титанові сплави та ін. з метою зниження діючих сил та підвищення стійкості інструменту, прискорення процесу розігріву та збільшення швидкості зварювання. Зазвичай цих цілей використовують індукційне нагрівання.

Охолодження зони зварювання виконують для алюмінієвих та магнієвих сплавів, насамперед для зменшення зростання зерна. Охолодження виконують потоком повітря. Крім того, ЗТП може виконуватися у воді.

На основі ЗТП розроблено технології різного призначення: шовне зварювання, точкове зварювання, наплавлення, усунення дефектів матеріалу та його модифікування, формування внутрішніх каналів, паяння, нарощування матеріалу (адитивна технологія) та ін.

3.3.2 Циклограми робочого процесу ЗТП

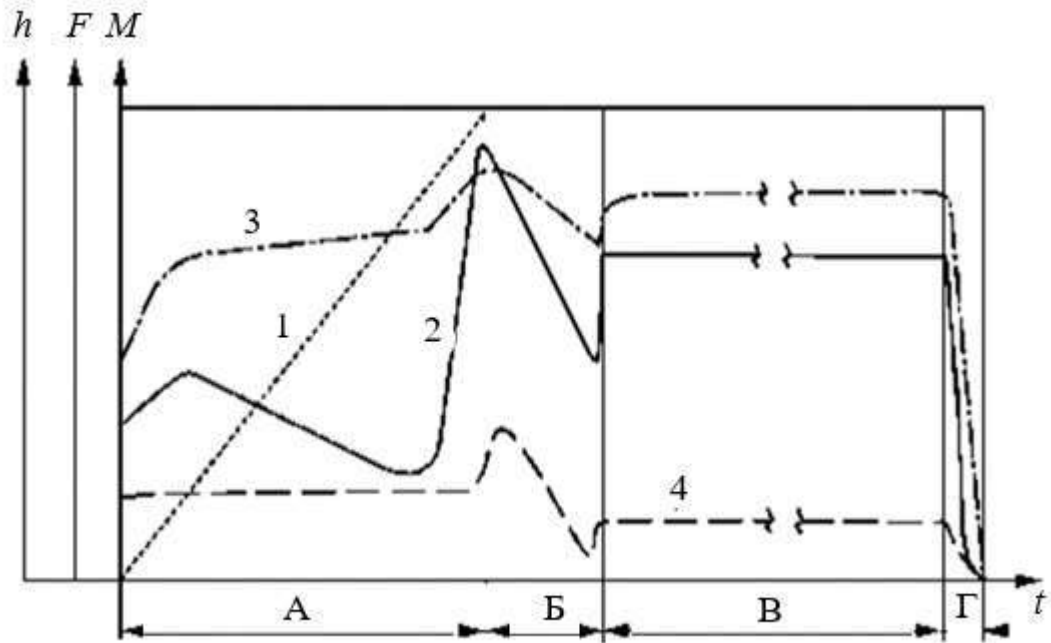
Циклограми ЗТП, що ілюструють зміну основних параметрів процесу, показані на рисунках 3.6, 3.7. Відрізки часу, що характеризують етапи всього циклу.



А – початок процесу, використання інструмента; Б - початок руху вздовж шва до досягнення необхідної швидкості зварювання; В – штатний режим безпосередньо зварювання; Г – завершення процесу до зупинки інструмента.

1 – величина впровадження інструменту (h); 2 – частота обертання інструменту (n); 3 – швидкість зварювання (v)

Рисунок 3.6 – Характерна циклограма зварювання тертям, що відображає зміну режимних параметрів



А – початок процесу, використання інструмента; Б - початок руху вздовж шва до досягнення необхідної швидкості зварювання; В – штатний режим безпосередньо зварювання; Г – завершення процесу до зупинки інструмента.

1 – величина впровадження інструменту (h); 2 – нормальна (осьова) сила (P); 3 - величина крутного моменту (M); 4 – сила опору переміщенню у напрямку зварювання (F)

Рисунок 3.7 – Характерна циклограма зварювання тертям, що відбиває характер зміни силових параметрів

3.4 Енергія пластичного деформування

Кількість тепла, що виділяється, і ступінь перемішування матеріалу залежать від його властивостей, а також змінних ЗТП, що включають швидкість обертання і швидкість переміщення інструменту, а також від геометрії інструменту.

У ЗТП, з'єднання здійснюється в умовах екструзії, з проковуванням матеріал при високих швидкостях відносної деформації.

У ЗТП метал не нагрівається до температури плавлення, завдяки чому у швах та зонах термічного впливу ступінь структурно-фазових перетворень набагато менший, ніж при зварюванні плавленням. Поліпшені фізико-механічні властивості таких сполук забезпечують вищі експлуатаційні характеристики конструкцій, виготовлених із застосуванням ЗТП.

У процесі ЗТП тепло генерується тертям між інструментом і поверхнею, що зварюється, а також за рахунок пластичної деформації. Частина енергії пластичної деформації запасується у зоні термомеханічного впливу.

При ЗТП інструмент рухається з постійною швидкістю вздовж шва (U), обертаючись зі швидкістю навколо осі (ω). У будь-якій точці робочої поверхні інструменту тангенційна швидкість може бути визначена:

$$v_r = \omega \cdot r - U \cdot \sin\theta \quad (3.1)$$

де r – радіус від осі інструменту, θ – кут між вектором r та напрямом з'єднання.

Тепло генерується за рахунок тертя та пластичної деформації в контактній зоні робочого інструменту, а також за рахунок пластичної деформації у зоні термомеханічного впливу [37].

Величина тепла, що локально виділяється, викликаного силою тертя, може бути виражена приблизно формулою:

$$de_f = \delta \cdot (\omega \cdot r - U \cdot \sin(\theta)) \cdot \mu_f \cdot p \cdot dA \quad (3.2)$$

де de – величина показника ковзання; μ_f коефіцієнт тертя; p – величина сили, яка прикладається інструментом на елементарний майданчик dA .

Тепловиділення в зоні зварювання підвищується зі збільшенням кількості обертів інструменту або зменшення швидкості переміщення його вздовж стику. При певному для даного матеріалу співвідношенні частоти обертання інструменту та швидкості зварювання, що виділяється за рахунок тертя теплоти, може виявитися недостатньо для пластифікації необхідного обсягу металу, щоб заповнити всю порожнину, утворену цапфою інструменту. В результаті порушується безперервність потоку, що переміщається складною траєкторією металу, і в шві утворюються внутрішні не заповнені металом порожнини. При збереженні тієї ж швидкості обертання та зменшення швидкості його переміщення пластифікованого матеріалу стає більше, завдяки чому якість зварного шва покращується. Однак, при надмірному зменшенні швидкості зварювання відбувається надмірне виділення тепла, що призводить до перегріву металу та утворення внутрішніх дефектів у вигляді порожнин та несплошностей.

Результати експериментальних досліджень показали, що якість швів, при перемішуванні зварювання тертям алюмінієвих сплавів товщиною 1.5 – 5 мм, головним чином залежить від таких параметрів процесу, як розмір та конфігурація робочих поверхонь бурта та цапфи інструменту, сили притискання інструменту до поверхонь листів та глибини його занурення в метал, що зварюється, частоти обертання інструменту і швидкості зварювання.

Результати експериментів показали, що алюмінієвий сплав АМГ6 зварюється зварюванням тертям з перемішуванням без дефектів у широкому діапазоні зміни швидкості зварювання (80 – 500 мм/хв) при частоті обертання 500 - 1600 об/хв.

Інструмент повинен забезпечувати нагрівання металу в зоні зварювання до пластичного стану, перемішування його по всій товщині кромки, що зварюються, і переміщення в замкнутому об'ємі при надмірному тиску.

При моделюванні зварювання, що переміщує, тертям було прийнято, що тепловиділення визначається рівнянням:

$$q = \eta \mu r v = \frac{2\eta \mu P \omega}{60 (R_o^2 - R_p^2)} r; \quad R_p \leq r \leq R_o \quad (3.3)$$

де q – густина теплового потоку (Вт/мм²), P – нормальна сила (Н); ω – частота обертання інструменту (об/хв); R_o і R_p – радіуси бурта та цапфи, відповідно; η – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти, пов'язані з її відведенням до інструменту; μ – умовний коефіцієнт тертя.

На практиці помилки у визначенні кількості тепла, що виділяється, можуть відбуватися з різних факторів. Наприклад, величина сили тертя може змінюватися через температуру, а також через швидкість руху вздовж шва та інших факторів. У процесі розігріву шва локальне розм'якшення матеріалу знижує тертя, а з ним і величину тепла, що виділяється. Деякі дослідники з огляду на цей ефект вводять додатковий коефіцієнт тертя. Проте, немає однозначного методу визначення коефіцієнта тертя чи закону його зміни у процесі, що з температурою і швидкістю.

Величина пластичної деформації залежить від градієнта швидкості і швидко зменшується при віддаленні від інструменту, у зв'язку з цим більшість тепла генерується в області контакту інструмент - матеріал, що зварюється.

Виділення тепла за різних частотах обертання показано рисунку 3.8.

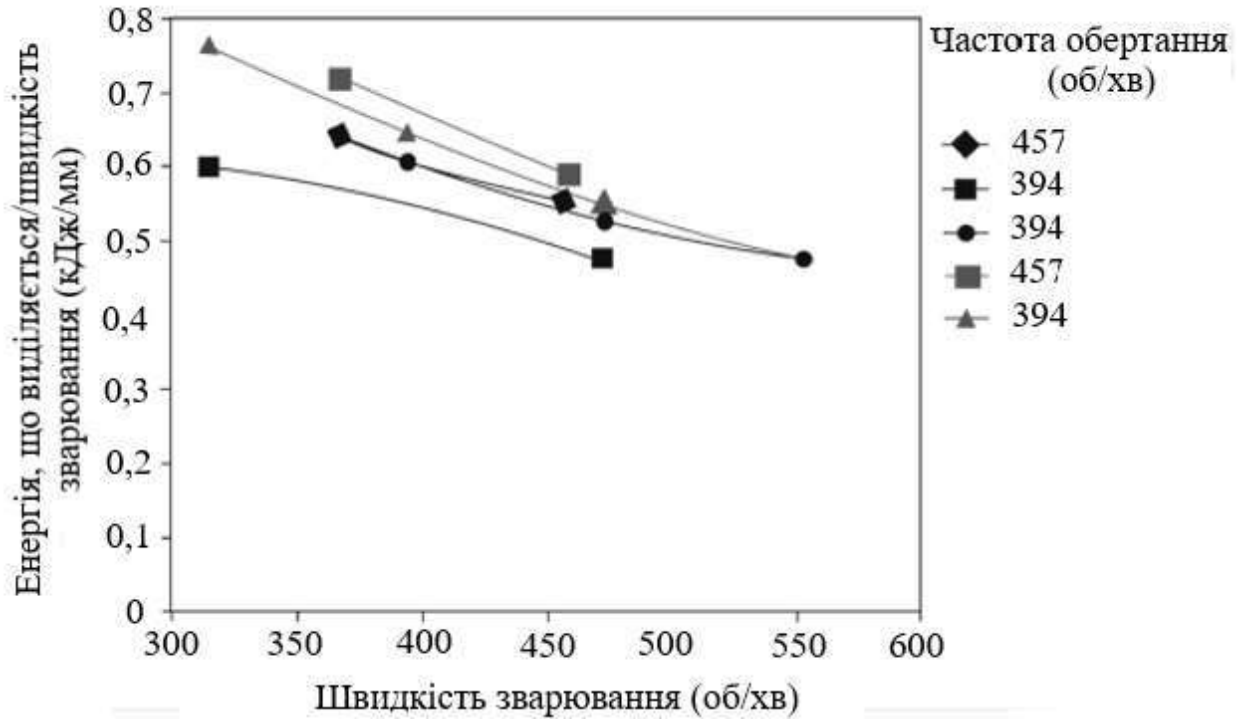


Рисунок 3.8 – Виділення тепла при різних параметрах ЗТП, які використовуються при зварюванні листів з алюмінієвого сплаву АМГ 6 завтовшки 6 мм

Було прийнято, що зміна межі плинності матеріалу від температури підпорядковується залежності, показаної рисунку 3.9.

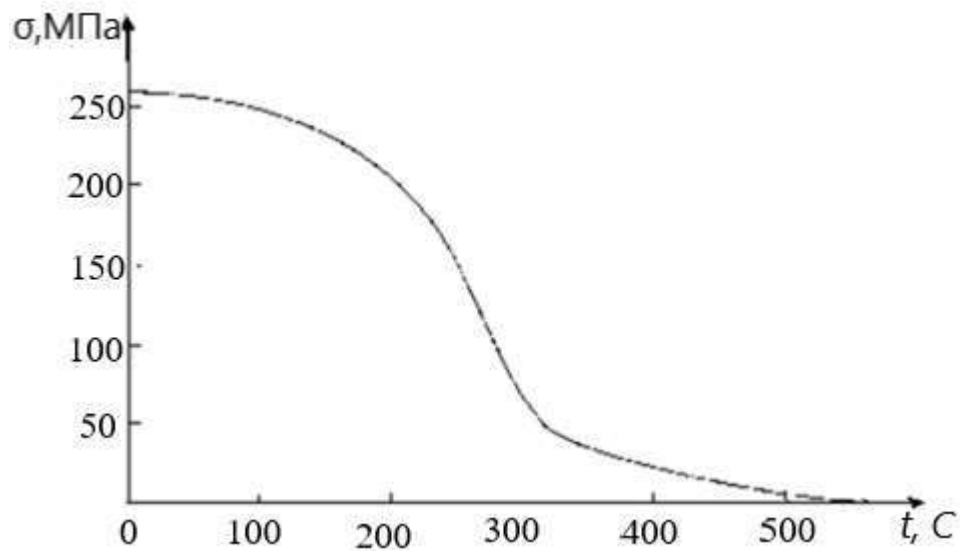


Рисунок 3.9 – Залежність межі плинності від температури, прийнята до розрахунків

При використанні інструменту з малим діаметром бурта об'єму пластифікованого металу може виявитися недостатньо для повного заповнення простору, що звільняється позаду інструменту, що призведе до утворення в швах дефектів у вигляді непропалення. Надмірно великий діаметр бурта сприяє формуванню широкої лицьової поверхні шва, значному жолобленню зварних з'єднань та утворенню дефектів внаслідок перегріву металу в зоні зварювання.

Встановлено, що для зварювання, що перемішує, тертям алюмінієвих сплавів товщиною 1.5 - 2.5 мм оптимальний зовнішній діаметр бурта інструменту повинен знаходитися в межах 10 – 15 мм. Крім того, для забезпечення стабільності формування швів на торцевій поверхні бурта необхідно робити невелике кільцеве поглиблення, що забезпечує плавне та безперервне переміщення пластифікованого металу та формування якісної лицьової поверхні шва [38].

3.5. Теоретичний потенціал можливості зварювання тертям з перемішуванням

На сьогоднішній день ЗТП здійснюється на спеціальному устаткуванні, а також на фрезерних верстатах з ЧПУ, що пройшли модернізацію з використанням спеціального інструменту зварювання. Основними недоліками цього процесу є високі навантаження на конструкцію обладнання внаслідок впливу осьових сил великої величини, що виникають у процесі зварювання, а також обмеження геометричних розмірів деталей, що зварюються. Наявність цих недоліків є причиною використання громіздкого обладнання, яке експлуатується при низьких швидкостях обертання шпинделя та здатне витримати великі навантаження.

На кількість утворюючої теплоти в робочому процесі ЗТП впливають нормальна осьова сила P і кутова швидкість обертання шпинделя ω . Для практичних розрахунків кількість тепла, необхідне протікання процесу може бути виражено формулою:

$$Q = \frac{\pi\omega\mu P(R_0^2 + R_0R_p + R_p^2)}{45(R_0 + R_p)} \quad (3.4)$$

де Q – кількість тепла, необхідне протікання процесу; ω – кутова швидкість обертання шпинделя; μ - коефіцієнт тертя; P – нормальна осьова сила; R_0 – радіус бурта інструменту; R_p – радіус профільного наконечника (піну) інструменту.

З формули видно, що при встановленому необхідному тепловиділенні нормальна осьова сила P обернено пропорційна кутовій швидкості обертання шпинделя ω .

З цього випливає, що велике значення осьової сили необхідне компенсації низького значення швидкості обертання шпинделя. Тому машини, що працюють на невеликих швидкостях, не мають достатньої гнучкості для зварювання деталей складних форм і конструкцій. Навпаки, висока швидкість обертання інструменту дає можливість отримати ту саму кількість енергії, але при менших силах впливу інструменту на деталі, що зварюються. За рахунок цього стає можливим зниження розмірів та маси обладнання та інструменту, що дозволить виготовляти невеликі портативні машини, здатні проводити будівельні та ремонтні роботи у польових умовах.

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ ФРАГМЕНТІВ ІЗ СПЛАВУ АМГ6 КОРПУСУ ЗЕРНОВОЗІВ

4.1. Вибір та відпрацювання параметрів режиму зварювання

Основні параметри ЗТП [39]:

- швидкість зварювання (швидкість подачі інструменту);
- частота обертання інструмента;
- кут нахилу інструмента;
- форма та розміри інструменту;
- сила притискання;
- сила переміщення інструменту.

Для визначення попередніх параметрів режиму зварювання проводили з'єднання листів алюмінієвого сплаву АМГ6 товщиною 5 мм встик за режимами, представленими в табл. 4.3. Хімічний склад металу АМГ6 наведено у таблиці 4.1, яке механічні властивості – у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад алюмінієвого сплаву АМГ6

| Склад легуючих елементів, % мас. | | | | | | | | | | | | Сумарний склад домішок, не більше, % мас. |
|----------------------------------|------|------|-------------|----|--------------|------|---------------|------|--------------------|----|----|---|
| Al | Fe | Si | Mn | Cr | Ti | Cu | Mg | Zn | Be | Zr | Sc | |
| Осн . | <0.4 | <0.4 | 0.5- 0.8 | - | 0.02 -0.1 | <0.1 | 5.8... 6.8 | <0.2 | 0.0002... 0.005 | - | - | 0.15 |

Таблиця 4.2 – Механічні властивості алюмінієвого сплаву

| Марка сплаву | Стан листа | Механічні властивості | | |
|--------------|------------|--------------------------------|--|----------------------------------|
| | | Межа міцності σ_B , МПа | Умовна межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа | Відносне подовження δ , % |
| АМг6 | В | 332 | 165 | 22 |
| | Н | 400 | 300 | 9 |

Примітка: В – відпалений стан; Н – нагартований стан

Таблиця 4.3 – параметри режиму зварювання тертям із перемішуванням (ЗТП) листів із сплаву АМг6

| Параметри режиму ЗТП | Значення параметрів |
|---|---------------------|
| Швидкість зварювання, мм/хв | 208,33...470 |
| Частота оберту інструменту, об/хв | 500...3 000 |
| Нормальне зусилля притискання інструменту до заготовок, Н | 9 000...9 500 |
| Кут нахилу інструмента у вертикальній площині, ° | 2...3 |
| Довжина штифта, мм | 4,8 |
| Діаметр штифта, мм | 4,2 |
| Діаметр заплечика, мм | 16 |

Для забезпечення мінімального зазору у стику кромки пластин попередньо фрезерували. Після цього кромки і прилеглу до них поверхню на ширині 20 мм механічно зачищали щіткою з нержавіючої сталі. Зварювання тертям з перемішуванням здійснювали на лабораторній установці, виготовленій на базі вертикального фрезерного верстата з ЧПУ 6Т12 (рис. 4.1) та додатково оснащеного індикатором вертикального переміщення фрезерної головки. Для зварювання використовували інструмент, виконаний

із швидкорізальної сталі P6M5, загартованої до HRC 54, зі штифтом конусоподібної форми та гвинтовою лінією [40].



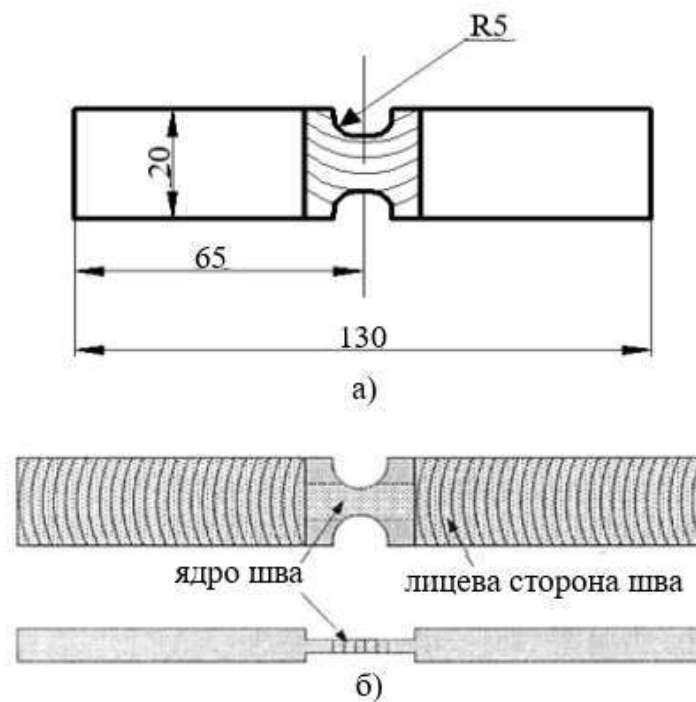
Рисунок 4.1 – Дослідницька установка для зварювання тертям з переміщенням на базі вертикально-фрезерного верстата 6Т12

Довжину наконечника інструменту вибирали таким чином, щоб вона була на 0,1 ... 0,15 мм менше товщини металу, що зварюється. Зварювання виконували кутом уперед при нахилі інструменту щодо вертикальної осі на $2...3^\circ$. За допомогою супорта, закріпленого на валу електродвигуна, інструмент переміщався у вертикальній площині, завдяки чому забезпечувалося необхідне заглиблення його робочих частин у матеріал, що зварюється, і підтримувався постійною величина осьового зусилля його притискання до деталей, що з'єднуються в процесі зварювання. Зварювані листи надійно фіксували на сталевому підкладці рухомого столу. У цьому швидкість зварювання можна було змінювати не більше 2,0...40 м/год.

При цьому оцінювалися навантаження, що розвиваються в процесі впровадження інструменту і в процесі зварювання, зовнішній вигляд ділянок, що одержуються, перемішаного металу, і проводилася перевірка ділянок

рентгенографічним методом неруйнівного контролю на наявність різних дефектів в області проходу зварювального інструменту. Потім на вибраних режимах проводилося зварювання контрольних зразків встик, повторно оцінювався їхній зовнішній вигляд, і контролювалася наявність дефектів рентгенографічним методом неруйнівного контролю.

Наступним етапом робіт була оцінка міцнісних та пластичних характеристик отриманих зварних з'єднань. Для цього виготовлялися зразки (рис. 4.2) з шириною робочої частини 15 мм для визначення межі міцності при одновісному розтягуванні. Ширина робочої частини зразків визначення характеристик опору втоми становить 25 мм. Випробування зразків на кут загину показали, що зразки гнулися до 180° , при цьому тріщин не було виявлено, що свідчить про високі пластичні характеристики зварних з'єднань (рис. 4.3).



а) зразок визначення міцності металу шва при ЗТП; б) схема вирізки зразка визначення міцності ядра шва

Рисунок 4.2 – Зразки для оцінки міцнісних та пластичних характеристик



а)

б)

а — до випробувань, б – після випробувань на кут згинання

Рисунок 4.3 - Зразки для механічних випробувань, вирізані зі зварного шва плит завтовшки 30 мм

Результати механічних випробувань на статичне розтягнення показали, що міцність зварного шва ЗТП по відношенню до основного матеріалу знаходиться на високому рівні: в діапазоні значень 0,910 - 0,989 в залежності від зон вирізки зразків та напрямки волокна. Це свідчить про високий показник якості ЗТП та механічні властивості зварних з'єднань майже на рівні основного матеріалу.

На підставі отриманих результатів механічних випробувань, а також за результатами рентгенографічного контролю, що не руйнує, були обрані режими зварювання.

Таблиця 4.4 – Обрані параметри режиму зварювання конструктивних елементів корпусу зерновозів

| АМГ6 S = 5 мм | Значення параметрів |
|-------------------------------|---------------------|
| Посилення на шпинделі F, кН | 15 |
| Частота обертів N, об/хв | 560 |
| Швидкість зварювання V, см/хв | 50 |
| Момент обертання M, Н·м | 59,6 |
| Питома робота W, кДж/мм | 0,42 |

4.2 Обладнання для зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвих фрагментів корпусу зерновозів

Згідно з технічним завданням станція зварювання тертям з перемішуванням (далі – станція) повинна забезпечувати можливість зварювання поздовжнього шва довжиною 3000 мм одиночних обичайок з подальшим стикуванням і виконання кільцевих швів. Дані операції виконуються у різній конфігурації станції. Конфігурація станції при виконанні поздовжнього шва наступна (рис. 4.4): основна опора 1, поворотна консоль 2, опора допоміжна 3, платформа зі зварювальною головою 4, станина 5. Основна опора встановлена на плиті 6, на торцевій поверхні опори встановлений опорний підшипник з черв'яка редуктором 7 та електродвигуном 8. Консоль кріпиться до опорного підшипника верстатними болтами 11.

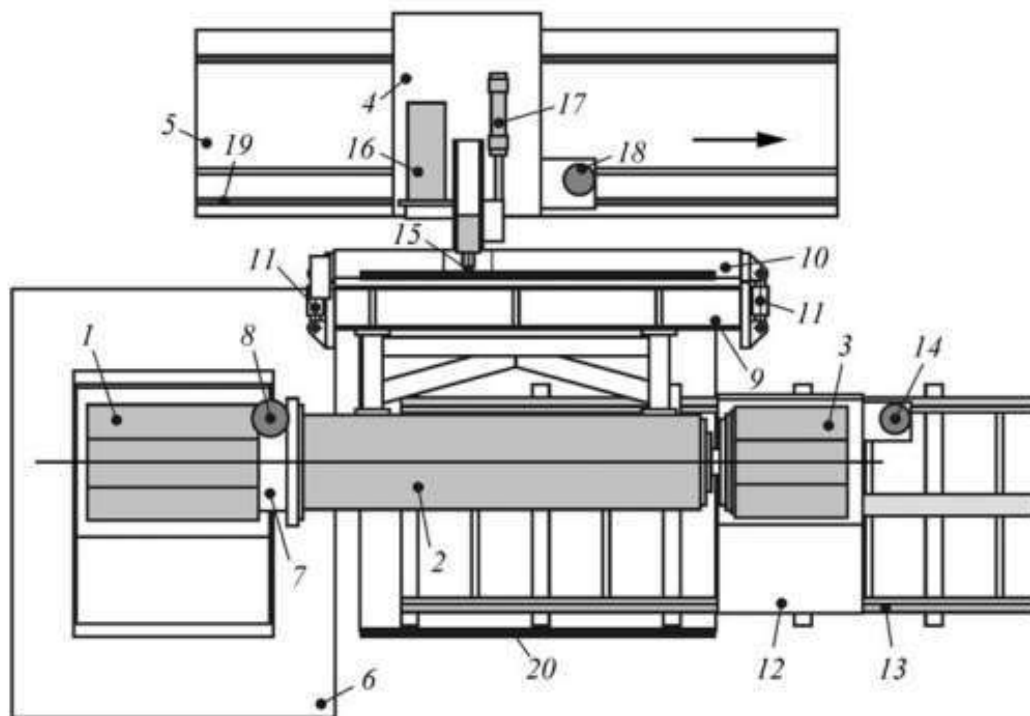


Рисунок 4.4 – Станція зварювання тертям з перемішуванням при зварюванні поздовжнього шва

При виконанні поздовжнього шва на консоль встановлюється опорна балка 9 з притискною балкою 10, що фіксується гідроциліндрами 11. Для компенсації горизонтальних сил при зварюванні вільний кінець консолі фіксується допоміжною опорою, встановленою на рухомій платформі 12, що переміщається по 4 направляючим мотор редуктором.

На платформі 4 встановлена зварювальна головка з робочим інструментом 15, електродвигун головного приводу 16, гідроциліндр 17 шпинделя переміщення вздовж осі обертання, а також механізми переміщення шпинделя у вертикальній площині і його обертання в горизонтальній площині. Також на платформі встановлений мотор редуктор 18, що здійснює її переміщення вздовж напрямку зварювання напрямних 19.

Для зварювання поздовжнього шва допоміжна опора відводиться в бік, гідроциліндри відпускають притискну балку, що дозволяє розкрити замок з одного боку, відвести її в бік і ввести в зазор заготовку обичайки. Далі виставляється нижня кромка обичайки та фіксується нижньою половиною притискної балки, після чого виставляється та фіксується верхня кромка. Платформа зі зварювальною головою виставляється у вихідний стан та процес зварювання здійснюється в автоматичному режимі. Робочі параметри процесу: тиск інструменту, частота обертання, кут нахилу, швидкість зварювання визначаються досвідченим шляхом.

При зварюванні кільцевого шва (рис. 4.5) опорна балка демонтується і на консоль 1 встановлюється обмежувальне кільце 20 опорного підшипника і опорне кільце 2 на вільний кінець. Після установки на кільця приварюваної обичайки 3 і поєднання її кромки з оболонкою, що нарощується, опорне кільце розпирається гідроциліндрами 4 і далі фіксується замком 5 з гідравлічним приводом 6. При цьому оболонка автоцистерни лежить на транспортних візках 15, що переміщуються вручну по напрямних 1. з боку інструменту 10 здійснюється трикутною стійкою 17 за допомогою роликів 18. Положення роликів визначається ручним обертанням ходового гвинта 19.

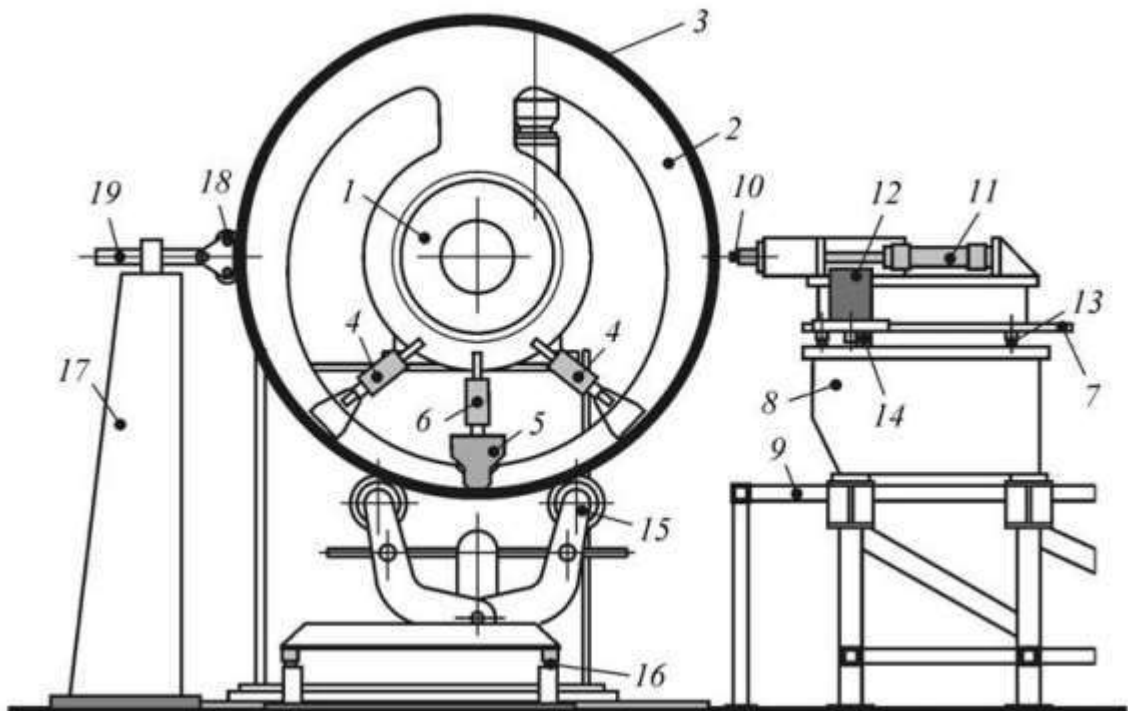


Рисунок 4.5 - Конфігурація станції зварювання тертям з переміщенням при зварюванні кільцевого шва

Обичайка на транспортних візках подається до обмежувального кільця, потім також на візках подається друга обичайка до суміщення кромки, після чого включаються розпірні гідроциліндри і в зазор, що утворився, вводиться замок. Далі включається обертання шпинделя і автоматичному робочому інструменті впроваджується в матеріал обичайки, після чого включається обертання консолі. Після закінчення процесу зварена конструкція відводиться по напрямних у бік, на консоль встановлюється чергова обичайка, і повторюється операція зварювання.

4.3 Устаткування для стикування і зварювання обичайок

Виготовлення цистерни починається зі збирання та зварювання обичайок. Стикування тонкостінних обичайок досить тривіальна і не становить труднощів. Інша справа зі збіркою цистерн з товщиною стінок 5 мм і більше. Технологічний процес зварювання регламентує точність збігу поверхонь об'єднувань, що з'єднуються в районі стику, тобто вони повинні являти собою правильні коаксіальні циліндри. Стикування обичайок послідовною постановкою по колу зварювальних прихваток супроводжується нерівномірною напругою металу, що зварюється в зоні термічного впливу. Згодом зварний шов виявляється нерівномірно навантаженим, що негативно впливає на ресурс такого з'єднання.

Для розв'язання цього завдання розроблено установку для стикування та зварювання обичайок. Основним конструктивним елементом установки є своєрідне колесо-оправлення діаметра, що змінюється, що нагадує собою колесо водяного млина. Пристрій колеса та схема роботи показані на рисунку 4.6 і рисунку 4.7.

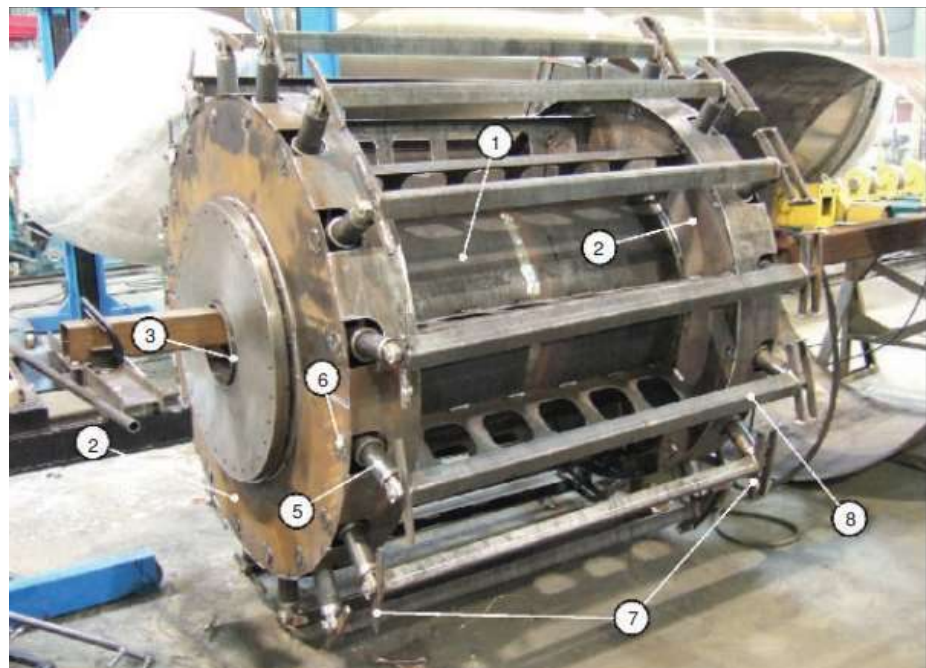


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд колеса-оправки

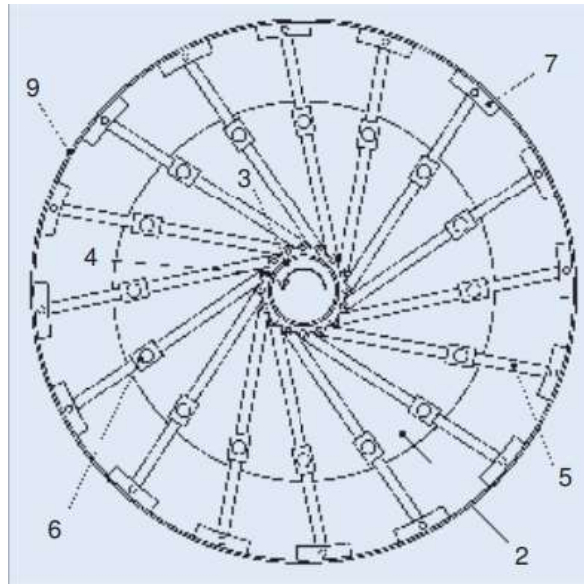


Рисунок 4.7 – Схема роботи колеса-оправки

Основними елементами є опорний барабан 1 з привареними подвійними днищами 2. По осі барабана розташовується несучий приводний вал 3, до якого приварена зірочка 4. Обертання вала відносно опорного барабана приводить в рух штовхачі 5, напрямком яких задається втулками 6, що коливаються. На протилежних кінцях штовхачів знаходяться черевики 7, що передають зусилля на одягнуту обичайку 9 у радіальному напрямку. Для зручності роботи при встановленні обичайок черевики, що лежать у різних площинах, попарно з'єднані ребрами 8. В результаті обичайка піддається практично рівномірно розподіленому по колу силовому впливу, що надає їй правильну геометричну форму. Конструктивно відносно переміщення вала та опорного барабана проводиться обертанням гвинта 10 (рис. 4.8), один кінець якого пов'язаний з днищем барабана, а другий через проміжний сектор 11 з валом 3.

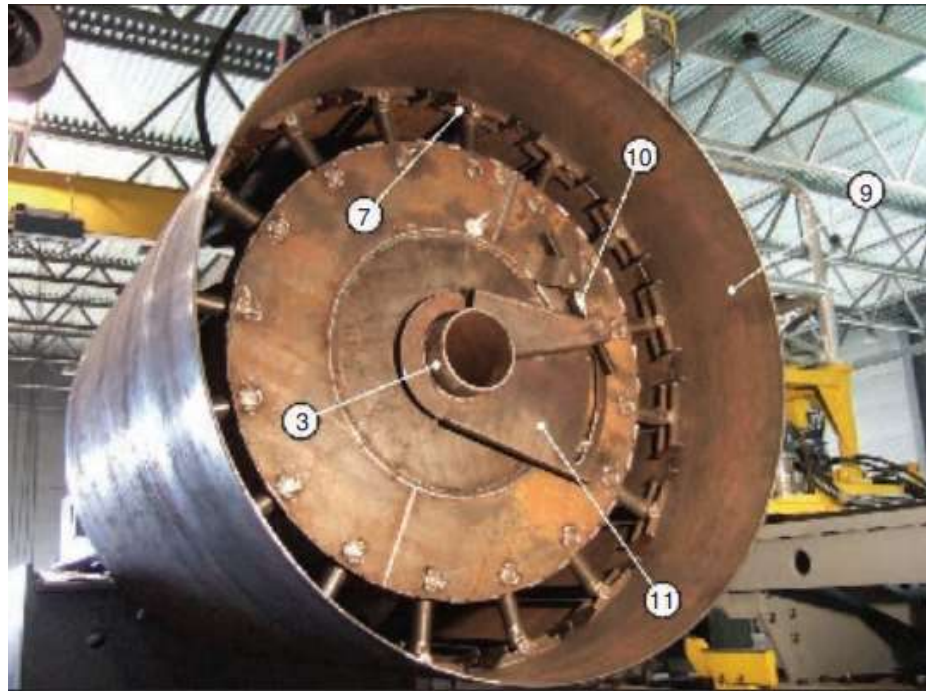


Рисунок 4.8 – Установка зварюваних обичайок

Загальний вид установки показано на рис. 4.9. Колесо-оправку кріплять на опорі 12 за допомогою опорного підшипника, поєднаного з черв'ячним редуктором, на вході якого встановлений приводний електродвигун 17. На колесо надягають до упору першу з об'єднувань, що з'єднуються, з нею стикують встановлену на візках другу обітницю, розташовану між здвоєними черевиками 7. Мінімальний зазор у стику досягають попередньою механічною обробкою кромek заготовок обичайок. Потім обертанням гвинта 10 здійснюють натяг дотичних поверхонь обичайок, що забезпечує необхідні умови для зварювання. Зварювальна головка 13 розташована на платформі 14, з приводом для регульованого переміщення вздовж осі конструкції, що збирається при виконанні поздовжнього шва. Кільцевий шов виконують при фіксованому положенні платформи і колеса, що обертається. Швидкості обертання колеса та переміщення платформи плавно регулюють за допомогою частотних перетворювачів, що здійснюють живлення приводних електродвигунів. На нерухомому кронштейні 15 встановлена друга зварювальна головка 16 призначена для виконання кореневого кільцевого шва. Технічні характеристики застосованого опорного підшипника та

конструкція колеса дозволяють утримувати на вазі дві зварені обичайки діаметром 2000 мм, виготовлені із сталевого листа завтовшки 12 мм.

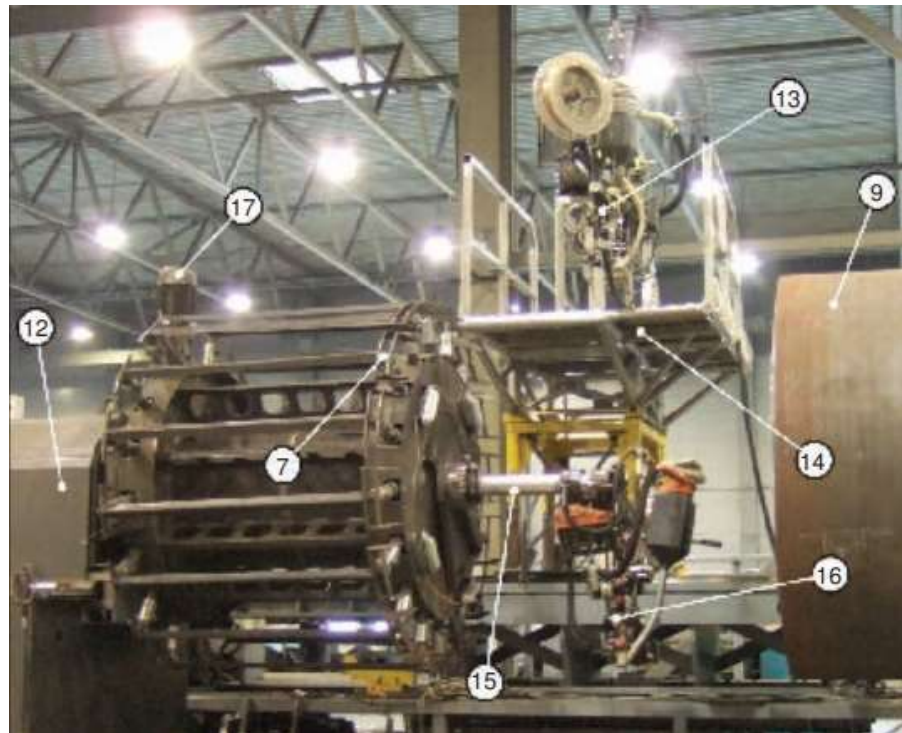


Рисунок 4.9 – Загальний вигляд обладнання

Установка дозволяє отримувати циліндричні конструкції довжиною до 12 м з мінімальними витратами часу та якісним рівномірно навантаженим зварним швом.

4.4 Обладнання для підготування кромки для зварювання

Істотною особливістю процесу ЗТП є вимога відсутності зазору між деталями, що зварюються при виконанні стикового шва.

Зазвичай технологічні прийоми виготовлення заготовок, що застосовуються, не дозволяють це забезпечити.

З такої причини перед зварюванням необхідна додаткова операція фрезерування поверхонь, що стикаються - для цього на шпindelній

платформі встановлюється електрошпindelь ТМРЕ10/2 потужністю 4,5 кВт компанії ELTE з кінцевою фрезою.

4.5 Особливості конструкції інструмента для зварювання тертям з перемішуванням

4.5.1. Конфігурації робочих частин інструмента

Одним з основних елементів, що забезпечують якісне зварювання тертям, є застосування інструменту з спеціальних надтвердих матеріалів, що мають низьку теплопровідність, високу теплостійкість і усувають його захоплення з матеріалом, що зварюється для реалізації масопереносу за рахунок деформаційної складової сили тертя, що забезпечується спеціальною геометрією інструменту (рисунок 4.10).

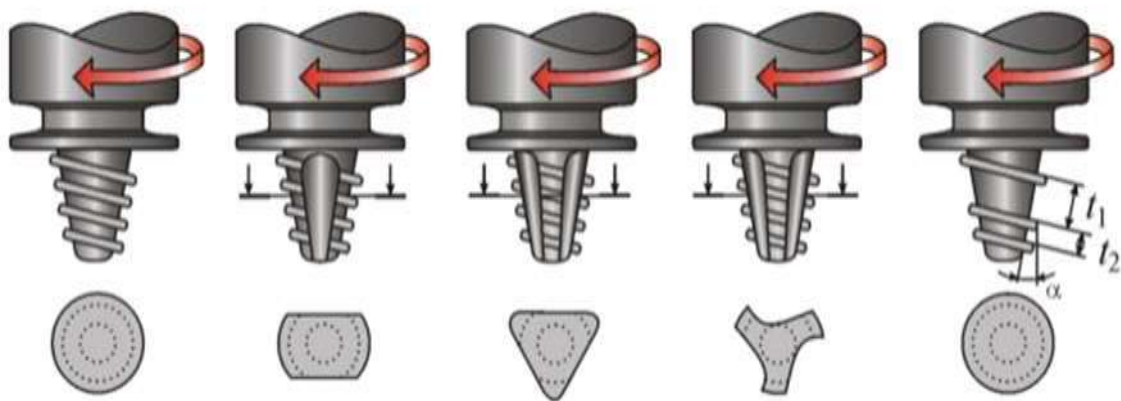


Рисунок 4.10 – Робочі частини інструментів, які використовуються під час ЗТП

Умови в'язкопластичного перебігу і перемішування матеріалу, що зварюється визначають якісні параметри зварного шва при зварюванні тертям перемішуванням. Конструктивна форма робочої частини інструменту в сукупності з параметрами режимів зварювання багато в чому визначають

ефективність процесів розм'якшення, перемішування та затвердіння матеріалу. Параметри геометрії інструменту, що складається з піна і бурта, повинні не тільки забезпечувати якість зварного з'єднання, створюючи необхідні умови термопластичної деформації та масопереносу, але і його стійкість, міцність, мінімальну силу впровадження інструменту при його введенні в стик.

Конструкція бурта впливає на фрикційні та теплові процеси в поверхневих та підповерхневих областях заготовлі. Бурт також забезпечує деформаційні дії на перемішаний матеріал, його ущільнення та проковування.

Конструкція піна визначає термопластичні умови прогріву, перемішування та екструзії матеріалу, що зварюється по товщині заготовок. Пін, що обертається, є генератором фрикційного нагрівання поверхонь, що з'єднуються. Конструкція піна повинна забезпечувати пластифікацію та руйнування приповерхневих шарів у стику роздільних поверхонь заготовок у передній (у напрямку подачі) частини інструменту, а потім – переміщення матеріалу за інструмент. Глибина деформацій та швидкість руху інструменту визначається та регулюється геометричною конструкцією піна.

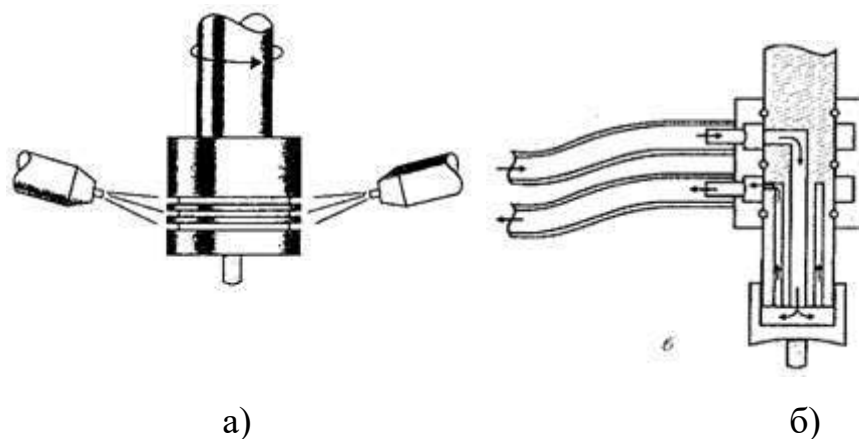
Конструкції та піна та бурта можуть мати як прості геометричні форми, так і можуть мати складне профілювання. Для підвищення якісних характеристик інструменту іноді використовують технології поверхневого зміцнення та нанесення покриттів. На поверхнях піна та бурта виконують спеціальні профільні нарізки, що забезпечують керування перебігом пластифікованого матеріалу. Форма бурта може бути плоскою, увігнутою чи конічною. Для ЗТП можуть застосовуватися зварювальні інструменти з буртом, що обертається, зі стаціонарним буртом, катушкові, з конусним піном, зі змінною довжиною піна, без піна. У літературі описуються різноманітні конструкції робочих частин інструментів для різних інструментальних та зварюваних матеріалів, товщин та форм. [41-44]. Пошук

оптимальних форм відбувається, зазвичай, під час експериментальної відпрацювання (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Робочі частини інструментів для ЗТП

При зварюванні алюмінієвих сплавів для зменшення прилипання металу до штиря та відведення надлишкового тепла використовується конструкція інструменту з охолодженням його зовнішнього боку шляхом пропускання холодоагенту (води) або обдування повітрям [45]. Існують також конструктивні варіанти, коли холодоагент подається каналами, розташованими всередині інструменту (Рис. 4.12)



а – із зовнішньою подачею, б – із внутрішньою подачею холодоагента

Рисунок 4.12 – Схема охолодження інструменту

Для зварювання алюмінієвих сплавів значної товщини розроблено сімейства інструментів Whorl™ та Triflute™ [46,47], які дозволяють зварювання за один прохід алюмінієвих сплавів завтовшки 50 мм. Інструмент із торговим знаком MX Triflute™ має штир у вигляді фігури, обмеженої двома паралельними площинами з трьома канавками та спеціальною нарізкою між ними. Така форма штиря має велику в порівнянні з циліндричним штирем поверхню і забезпечує зварювання при меншій кількості металу, що переміщається. Для поліпшення перенесення металу на рюкзак виконано низку концентричних канавок.

4.5.2 Фізико-механічні та технологічні вимоги до інструменту

Високі експлуатаційні характеристики інструментів ЗТП значною мірою залежать від якості матеріалу, з якого вони виготовлені. Матеріали, призначені для інструменту ЗТП, повинні за рядом показників значно перевершувати матеріали, що зварюються. Основні вимоги до матеріалу інструменту ЗТП:

Теплостійкість. При ЗТП виділяється велика кількість теплоти, при цьому штифт та притискний бурт інструменту нагрівається. Температура інструменту залежить від умов, за яких ведеться ЗТП матеріалу, що зварюється, і може досягати 1300 °С (при зварюванні нержавіючих сталей). Необхідно, щоб за значних температур зварювання твердість поверхонь інструментів істотно не зменшувалася. Матеріал для інструменту повинен мати високу теплостійкість, тобто. здатність матеріалу зберігати високу твердість при підвищених температурах та вихідну твердість після охолодження.

Зносостійкість. Матеріал інструменту ЗТП повинен мати високу зносостійкість за підвищеної температури, тобто. мати хорошу опірність стирання при ЗТП.

Висока міцність та твердість. Важливою вимогою є висока міцність інструментального матеріалу. Якщо висока твердість матеріалу робочої частини інструменту супроводжується значною крихкістю, це призводить до поломки та фарбування штифта інструменту.

Технологічність. Матеріал повинен мати хороші технологічні властивості, що забезпечують оптимальні умови виготовлення з нього інструментів, у тому числі складнопрофільованих.

4.6 Обладнання для контролю параметрів та управління процесом

Зварювання тертям з перемішуванням виконуємо на установці FSW SuperStir Plant виробництва компанії ESAB під час виготовлення заготовок великогабаритних деталей автомобільних напівпричепів.

Однією з необхідних умов якісного зварювання є відсутність зазору між деталями, що з'єднуються в процесі зварювання при виконанні стикового шва. Максимальні зусилля, що розсувають, виникають в момент впровадження інструменту в матеріал деталей, тому велике значення має режим впровадження. Можливі два варіанти режиму застосування інструмента: з постійною швидкістю по осі Z і з постійною швидкістю зростання зусилля F . В обох випадках впровадження здійснюють до досягнення заданого значення F . Далі слідує витримка протягом часу t , необхідна для розігріву матеріалу деталей до необхідної температури, після чого включають привід руху по осі X .

Стабілізація частоти обертання інструменту n в межах $\pm 5\%$ реалізується за допомогою стандартного приводу на основі асинхронного

електродвигуна. Привід руху по осі X також можна виконати аналогічно, проте при роботі в автоматичному режимі потрібне застосування синхронного двигуна з метою точного вимірювання координат X.

Значення F , n та V визначають дослідним шляхом для різних марок сплавів, товщини деталей та різної геометрії інструменту. Процес досить трудомісткий з урахуванням проведення необхідних механічних випробувань зразків зварного шва. Тим часом є об'єктивний фізичний параметр процесу - механічна робота W , що здійснюється інструментом у процесі руху швом. Даний параметр однозначно визначає температуру матеріалу деталей, а отже, і характер його перемішування і, відповідно, макро-і мікроструктуру зони зварної сполуки. Оцінити величину W досить просто через механічну потужність N на валу шпинделя, знаючи момент обертання на валу шпинделя M :

$$N = Mw, \quad (4.1)$$

де $w = 2\pi n/60$

Момент обертання на валу шпинделя M обчислюють через момент обертання $M_{дв}$ валу двигуна з урахуванням коефіцієнта передачі. Для реалізації цього завдання необхідний частотний привід на основі синхронного двигуна. Достоїнствами синхронного двигуна також є подвоєна по відношенню до асинхронного питома потужність та можливість короткочасного кратного навантаження без зупинки двигуна.

Систему управління (СУ) розробляли зі значною надмірністю з урахуванням можливості оперативного нарощування функцій з доведенням установки. Другим важливим фактором була надійність та час відновлення СУ. Третім за важливістю фактором була гнучкість системи при експлуатації як з погляду програмного забезпечення, так і з точки зору легкості заміни виконавчих пристроїв та датчиків з різними керуючими та вихідними сигналами або діапазонами, що вимірюються. Для реалізації цих вимог було виконано наступне: Як основний комп'ютер вибрано DLog IPC7. Основними його перевагами є герметичність, вібростійкість та наявність сенсорного

дисплея з підвищеною зносостійкістю. Кількість входів та виходів СУ значно перевищує необхідне. Для мінімізації ЗіПа всі вузли пристрою сполучення з периферією СУ ідентичні, передбачена повна апаратна та програмна взаємозамінність. Входи для датчиків універсальні і можуть вимірювати струмові сигнали від датчиків, так і сигнали у вигляді напруги. Датчики можна використовувати з різними діапазонами вимірюваних величин. У таблицю датчиків вноситься запис діапазону вимірюваного параметра за типом і значенням вихідного сигналу кожного датчика. Декілька входів виконані з гальванічної ізоляцією для можливості прийому сигналів з високовольтним синфазним зміщенням та/або зменшення наведень. Всім параметрам можна задавати чотири уставки — дві технологічні (мінімальна та максимальна) та дві аварійні.

Система живлення резервована із можливістю гарячої заміни блоків живлення. При виході будь-якого блоку живлення з ладу видається відповідне попередження. Всі блоки живлення допускають підвищення напруги на вході з 220 до 400 В. Програмне забезпечення (ПЗ) працює в середовищі операційної системи Windows Embedded Enterprise (вбудована XP). Все програмне забезпечення зберігається в комп'ютері на жорсткому диску і продубльовано у вбудованому флеш-накопичувачі. Запуск та робота програми можливі з обох пристроїв (жорсткого диска та флеш-накопичувача). У разі пошкодження програмного забезпечення або операційної системи достатньо звичайного копіювання з одного накопичувача на інший - швидке відновлення працездатності. Для запуску програмного забезпечення немає необхідності його встановлювати. Всі аналогічні входи та виходи програмно взаємозамінні. У разі виходу з ладу будь-якого входу або виходу достатньо приєднати відповідний сигнал на вільний аналогічний вхід або вихід і відзначити це в таблиці сигналів. Для спрощення написання програм функціонування верстата розроблено вбудований емулятор, який виконує команди управління, написані у звичайному текстовому форматі. Це полегшує написання, читання та

редагування програми. Для зручності та зменшення помилок під час написання та редагування передбачено вбудований редактор. Немає необхідності писати команди, достатньо натиснути потрібну команду у вікні керування відповідного вузла, як при ручному керуванні. У комп'ютері може одночасно зберігатися багато різних програм. Програми функціонування вибирають у меню. За промовчанням виконується остання програма.

Для аналізу роботи верстата ведеться кілька архівів: архів подій (аж до натискання кожної кнопки), архів аварій, архів всіх сигналів як керуючих, так і датчиків, архів роботи верстата по кожному оператору, архів мотогодин. У СУ вбудований графічний редактор, що дозволяє переглядати архіви параметрів як графіків. ПЗ верстата можна запускати на звичайному комп'ютері в середовищі Windows XP і аналізувати архівні дані або писати/редагувати програми роботи верстата. Вбудований в DLog IPC7 Wi-Fi модуль дозволяє оперативно завантажувати архіви для аналізу на віддаленому робочому місці, а також при необхідності віддалено оновлювати ПЗ.

Меню СУ розділено на кілька вікон відповідно до виконавчих пристроїв. Є універсальне вікно користувача, в якому можна задавати відображення будь-яких параметрів на розсуд споживача для оперативного спостереження за параметрами в процесі роботи. В одному із вікон відображається зображення в реальному часі, що отримується з відеокамери. Відеокамера підключена через порт USB. Для зручності налаштування верстата передбачені режими «Автоматичне калібрування за зусиллям інструмента», «Автоматичне калібрування за швидкістю переміщення інструмента по осі Z», «Автоматичне калібрування опорної точки за координатами X, Y та Z».

При роботі на установці оператор користується одним з чотирьох файлів: фрезерування по осі Y, фрезерування по осі X, зварювання по осі Y, зварювання по осі X. Файли фрезерування містять наступні параметри: координати початкової та кінцевої точок траєкторії, швидкість переміщення

фрези, частота обертання фрези. Файли зварювання містять такі параметри: координати початкової та кінцевої точок траєкторії, швидкість переміщення інструменту, частота обертання інструменту, зусилля на інструменті, а також параметри режиму впровадження інструменту.

У процесі зварювання на екрані комп'ютера в основному поле відображаються задані та фактичні значення параметрів процесу. Крім цього, у додатковому полі відображаються на вибір поточні параметри роботи електроприводів, гідросистеми та інші параметри роботи установки. Період опитування складає 5 с. Усі опитувані параметри записуються на згадку і зберігаються необмежено довго.

Контроль моменту обертання на валу шпинделя дозволяє оцінювати питому механічну роботу W , здійснювану інструментом при зварюванні. Критичним параметром, що характеризує процес зварювання, безумовно, є величина N . Очевидно, що енергія, що виділяється в процесі, витрачається на нагрівання як безпосередньо матеріалу деталей, так і інструменту і підкладки. При зварюванні деталей однакової товщини співвідношення між зазначеними складовими практично не змінюється, проте необхідна температура матеріалу та властивості його течії будуть різними. Відповідно режими зварювання різних алюмінієвих сплавів описуються різними значеннями параметра N . Зміна товщини деталей, що зварюються, також спричинить зміну N через зміну обсягу нагрівається матеріалу в районі шва і збільшення втрат теплоти на нагрівання деталей, що з'єднуються.

5 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

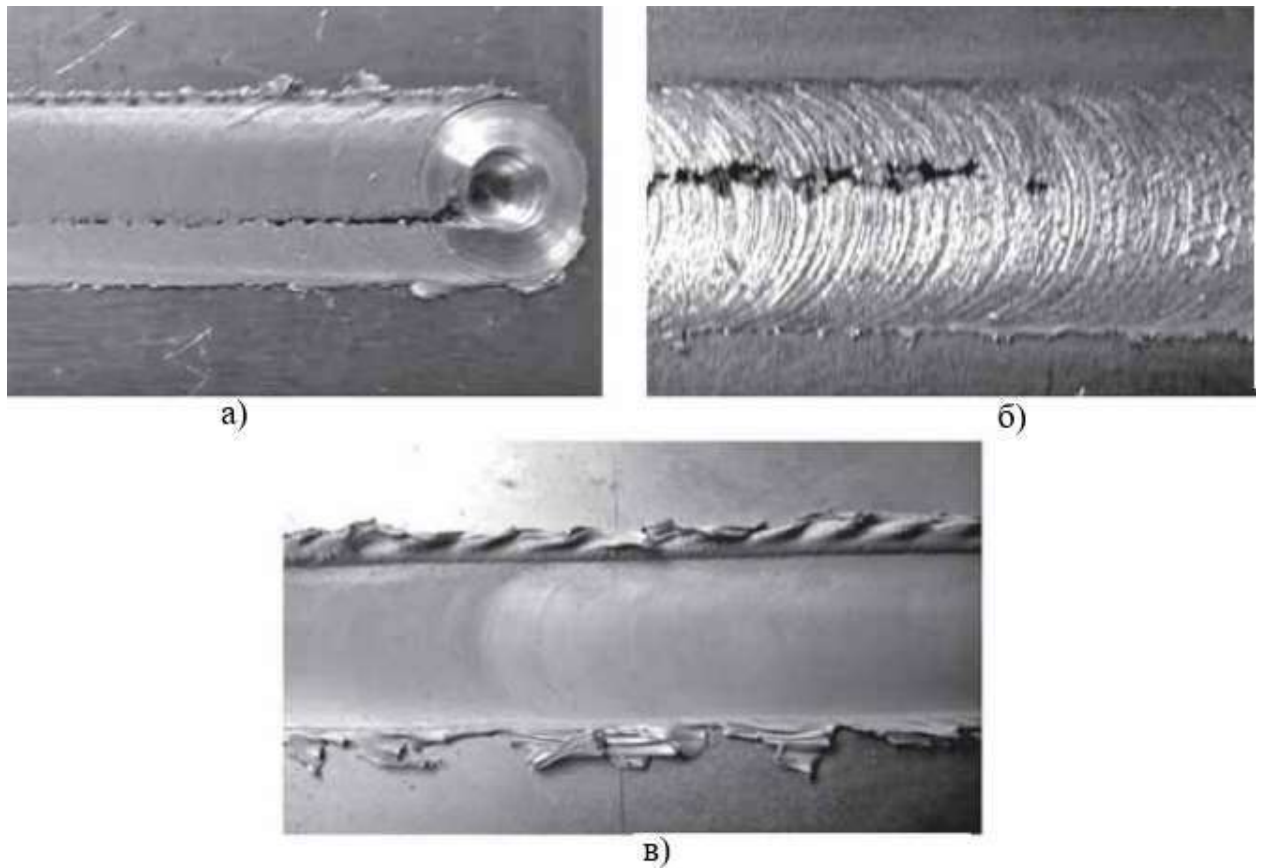
5.1 Дефекти, що виникають при зварюванні тертям з перемішування

Зварювання тертям з перемішуванням знаходить у час широке застосування під час створення зварних конструкцій з алюмінієвих сплавів [49-53]. Формування нероз'ємного з'єднання при зварюванні тертям з перемішуванням (ЗТП) протікає у твердій фазі без розплавлення основного металу, що дозволяє уникнути появи у швах алюмінієвих сплавів таких характерних для зварювання плавленням дефектів, як гарячі тріщини, пори та включення оксидної плівки. Через невисокі температури нагрівання з'єднання в процесі зварювання спостерігається зниження розуміщення металу в зоні термічного впливу і протяжності зазначеної зони. Зварювання тертям з перемішуванням характеризується також відсутністю істотних деформацій конструкцій, що зварюються після зварювання, що в багатьох випадках виключає необхідність їх механічної правки.

Внаслідок порушення вимог до збирання та підготовки поверхні заготовок, що зварюються, вибору інструменту, а також режимів зварювання тертям з перемішуванням і технології виникають дефекти зварних з'єднань.

При ЗТП алюмінієвих сплавів можна виділити кілька видів характерних дефектів, що виникають з різних причин, а саме: несплавлення на лицьовій поверхні шва, перегрів металу на лицьовій поверхні шва, несплавлення у кореневій частині шва та внутрішні дефекти у вигляді несплошностей.

Найлегше з допомогою візуального контролю виявляються зовнішні дефекти зварних з'єднань. До таких дефектів можна віднести протяжні та локальні несплавлення, а також перегрів металу на лицьовій поверхні шва (рисунок 5.1).



а - протяжні, б - локальні несплавлення та в - перегрів металу на
лицьовій поверхні шва

Рисунок 5.1 - Зовнішні дефекти швів:

До основних причин виникнення несплавлення на лицьовій поверхні шва можна віднести малий діаметр заплечика інструменту; великий діаметр наконечника інструмента; значне заглиблення на робочій (торцевій) поверхні заплечика інструменту; недостатнє заглиблення заплечика інструменту в метал, що зварюється; недостатнє зусилля притискання інструменту до поверхонь деталей, що зварюються в процесі зварювання; мала частота обертання інструмента; значна швидкість зварювання; великі зазор у стику та зміщення осі стику щодо інструменту; ненадійна фіксація кромки, що зварюються [54, 55].

Основні причини утворення перегріву лицьової поверхні шва такі: великий радіус заплечика інструменту; надмірне зусилля притискання інструменту; великий кут нахилу інструмента щодо вертикальної осі; значна

частота обертання інструмента; мала швидкість зварювання; недостатня чистота обробки робочої поверхні заплечика інструменту; забруднення поверхонь деталей, що зварюються.

Грат при ЗТП виникає внаслідок надмірного заглиблення заплечика інструменту в метал, що зварюється, великого кута нахилу інструменту щодо вертикальної осі, надмірного завищення (депланації) кромки з боку відходу інструменту; відхилення інструменту від вертикальної осі вліво або вправо щодо стику, ненадійної фіксації кромки, що зварюються. Найбільш часто зустрічається типом дефекту є непровар кореня шва (kissingbond). Непровар - це відсутність металевих зв'язків по перерізу кромки деталей, що зварюються, що виникає через неможливість пластифікованого металу досягти кореня шва (рисунок 5.2) [56].

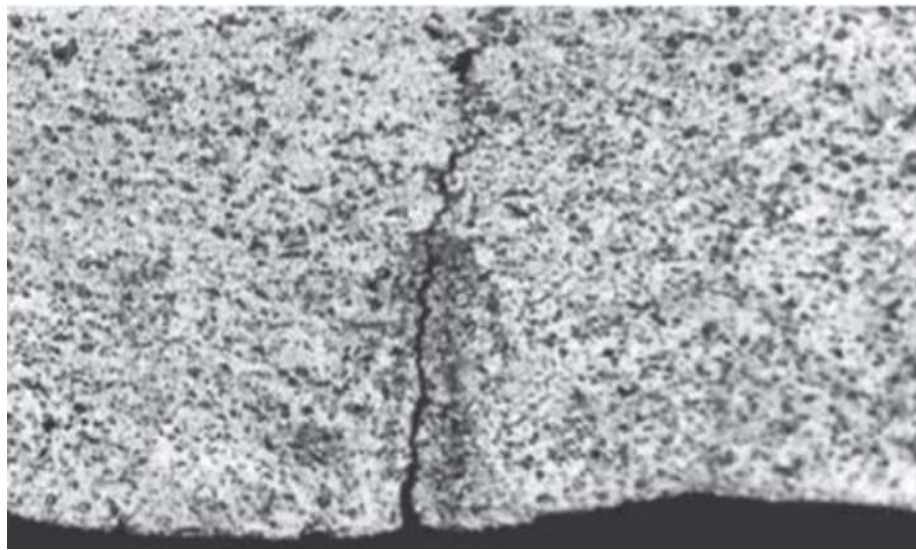
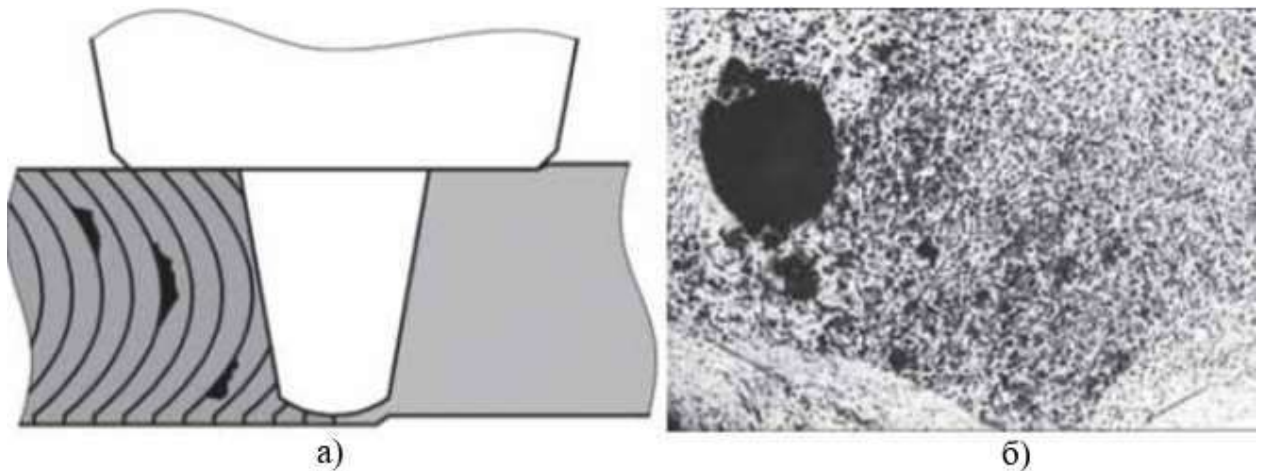


Рисунок 5.2 - Несплавлення у кореневій частині шва, отриманого ЗТП на напівфабрикаті товщиною 7 мм із сплаву АМг6, х300

Причинами виникнення несплавлень у кореневій частині шва при ЗТП є недостатні для даної товщини металу, що зварюється, довжина наконечника, занурення заплечика інструменту в зварюваний метал і зусилля притискання інструменту до поверхонь зварюваних деталей в процесі зварювання; велике усунення осі стику щодо інструменту; знос наконечника інструменту у процесі зварювання.

Дефекти у вигляді рихлоти (рисунок 5.3) виникають у швах як у разі перегріву металу, що зварюється, так і при недостатньому тепловиділенні для пластифікації металу в зоні зварювання. Надмірне нагрівання металу в зоні зварювання, що призводить до оплавлення міжзеренних кордонів з легкоплавкими евтектиками, що там накопичуються, відбувається в основному з тих же причин, що і внаслідок перегріву лицьової поверхні шва металу і утворення грата. Тільки ступінь перегріву металу при цьому вищий.



а – схема утворення, б – дефект у вигляді рихлоти (x500)

Рисунок 5.3 - Схема утворення та дефект у вигляді рихлоти у мікроструктурі шва сплаву АМгб, обумовлений перегрівом металу

У разі недостатнього тепловиділення в зоні зварювання порушується безперервність потоку пластифікованого металу і у шві утворюються внутрішні, не заповнені металом порожнини.

У структурі зразків, зварювання яких було виконано з найвищими значеннями частоти обертання інструменту, спостерігали дефекти зварювання, що отримали в англійській літературі назву wormhole або «червоточина» (рисунок 5.4) [57, 58].

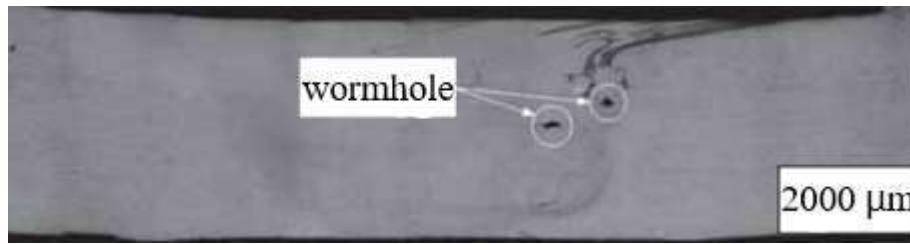


Рисунок 5.4 - Дефект типу «червоточини» на боці набігання шва сплаву АМг6

Цей тип дефекту, що найбільш часто зустрічається, при зварюванні тертям з перемішуванням має вигляд несплошності на стороні шва, що настає, і виникає, імовірно, внаслідок надмірно високої швидкості поступального руху інструменту щодо заготовлі, коли захоплений інструментом шар металу не встигає заповнювати простір позаду цього інструменту. У пластинах більшої товщини цей дефект виявився найбільш масштабним. Можна припустити, що при дії динамічних навантажень на зварне з'єднання зниження міцності буде помітнішим, оскільки в цих умовах дефект активно гратиме роль концентратора напруги. Підвищення частоти обертання інструменту та помітне зменшення зусилля притиску зварюваних пластин призвело до появи нового виду дефекту, описаного в літературі як Lazy S або лінія стику у прикореневій зоні зварного шва (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 - Дефект у вигляді лінії стику у шві сплаву АМг6

Лінія стику добре проявляється при візуальному огляді внаслідок наявності оксидної плівки, а також інших забруднень, які були присутні на кромках пластин перед початком зварювання. Вищеописаний дефект є найбільш небезпечним через свою значну протяжність по довжині зварного

шва, що обумовлює потім втрату несучої здатності конструкції і швидке її руйнування. Форма стикової лінії добре виявляється на металографічних шліфах при слабкому травленні, при статичному розтягуванні зразків з таким дефектом поверхня розриву матеріалу повторює її контури.

При виготовленні зварних вузлів технічними умовами регламентуються норми неприпустимих без виправлення дефектів, відповідно до категорії з'єднання обумовлюється їх максимальний розмір, кількість та розташування.

5.2 Візуальний контроль

Візуальний контроль матеріалів, призначених для виготовлення деталей та елементів зварних вузлів, виробляють з метою виявлення поверхневих тріщин, розшарування, заходу сонця, вибоїн, рисок, раковин та інших дефектів.

Освітленість контрольованих поверхонь для створення оптимального розмаїття з фоном у зоні контролю повинна бути достатньою для надійного виявлення дефектів, але не менше 500 лк. При нижчій освітленості потрібно застосовувати додатковий переносний джерело світла, тобто, використовувати комбіноване освітлення. При візуальному контролі має бути забезпечений достатній кут огляду: поверхню слід оглядати під кутом понад 30° на відстані від неї не більше 600 мм.

Дефекти виявлені при візуальному та вимірювальному контролі повинні бути усунені до здійснення наступної технологічної операції або приймання об'єкта. Якщо виявлені дефекти не перешкоджають подальшому застосуванню інших видів (методів) контролю, що не руйнує, то ці дефекти можна усунути по завершенню контролю.

У готового зварного з'єднання слід контролювати:

- Відсутність (наявність) поверхневих дефектів;
- якість очищення металу після видалення тимчасових технологічних кріплень;
- якість очищення поверхні зварного шва та прилеглих ділянок основного металу для подальшого контролю неруйнівними методами.

5.3 Ультразвуковий метод контролю

Ультразвукова дефектоскопія заснована на властивості ультразвукових хвиль спрямовано поширюватися в середовищах і відбиватися від кордонів або порушень суцільності (дефектів), що мають дурний акустичний опір.

До основних переваг ультразвукової дефектоскопії відносяться висока чутливість методу, мобільність апаратури, оперативність отримання результатів, низька вартість контролю та відсутність радіаційної небезпеки. Цей метод використовують для виявлення таких дефектів як тріщини, непровари, шлакові та інші включення у зварних швах завтовшки 1,0...2800 мм.

Для оцінки якості швів визначають такі характеристики дефектів:

- амплітуда ехо-сигналу, пропорційна площі проекції поверхні, що відбиває дефекту на площину, перпендикулярну осі ультразвукового пучка;
- умовна довжина, яка визначається довжиною зони переміщення перетворювача вздовж шва, в межах якої фіксується ехо-сигнал від виявленого дефекту;
- умовна висота, що дорівнює різниці значень глибини залягання дефекту, які вимірюють у крайніх положеннях похилого перетворювача при переміщенні його перпендикулярно до осі шва (крайніми є ті положення перетворювача, які відповідають появі та зникненню ехо-сигналу від дефекту на розгортці;

- число дефектів, що припадають на одиницю довжини шва;
- координати дефекту по перерізу та довжині шва.

Розташування дефекту в зварному шві визначають три координати: H – глибина залягання дефекту, що відраховується за нормаллю до поверхні; X – відстань від центру пучка випромінювача до дефекту вздовж зварної поверхні; L – відстань уздовж осі шва від будь-якої обраної точки відліку до дефекту.

Глибиномірний пристрій дефектоскопа вимірює інтервал часу між проходженням зондуючого імпульсу та ехо-сигналу дефекту. Амплітуду луна-сигналу вимірюють за допомогою порівняння луна-сигналу від дефекту з яким-небудь опорним сигналом відомої величини і форми, що надійшли в той же перетворювач від відбивача. З метою уніфікації виміру амплітуди луна-сигналу введено поняття еквівалентної площі дефекту.

Еквівалентна площа дефекту вважається рівною площі штучного відбивача, розташованого на тій же глибині, що і дефект, що забезпечує ехо-сигнал такої ж амплітуди. Аналогічно визначають еквівалентний діаметр. При зміні еквівалентного розміру дефекту за суміщеною схемою похилим перетворювачем вісь плоскодонного отвору збігається з акустичною віссю пучка, а при вимірі роздільно-сумісним перетворювачем вісь отвору перпендикулярна площині дна.

Для визначення розмірів тріщин, що знаходяться в перерізі шва, перетворювачі встановлюють по обидва боки перерізу і додатково вимірюють різницю в часі надходження сигналів, що дифрагували на кінцях тріщини, кожен перетворювач. Цей метод дозволяє також визначити нахил тріщини у вертикальній площині, але дуже трудомісткий і вимагає високої кваліфікації операторів.

Глибину тріщин, що виходять поверхню, оцінюють за часом поширення поверхневої хвилі між випромінювачем і приймачем. Глибина тріщини визначається різницею в часі надходження сигналу, викликаного поверхневою хвилею, кожен РС-перетворювач.

5.4 Рекомендовані методи виправлення дефектів

Для усунення дефектів зварних з'єднань, виконаних зварюванням тертям з перемішуванням, зазвичай використовують повторний прохід на режимі, на якому виконувалася зварювання з'єднання. При цьому для усунення дефектів, розташованих ближче до кореневої частини з'єднання застосовують зварювання зі зворотного боку.

Повторні проходи ЗТП для усунення дефектів швів не суттєво впливають на структуру і властивості зварних з'єднань листів зі сплаву АМгб. Тому можливе використання дво- та триразових повторних проходів для підварювання дефектних ділянок у вигляді протяжних несплавлень та несплавлень у кореневій частині шва.

Якщо сумарна довжина дефектних ділянок перевищує 25 – 30 % від загальної довжини шва, зазвичай здійснюють повторне переварювання зварного шва на повну довжину. Для виконання підварювання на всю довжину шва для гарантованого усунення дефектів рекомендується використовувати інструмент, аналогічний профілю робочому інструменту, але зі збільшеними розмірами бурта і стрижня приблизно на 20 - 25 %.

Встановлено можливість виправлення непротяжних дефектів з'єднань ЗТП алюмінієвих сплавів типу АМгб, що зварюються, ручним аргонодуговим зварюванням. При цьому підготовка поверхні заготовок до ЗТП повинна виконуватись відповідно до вимог, що існують для зварювання плавленням, а для виправлення дефектів допускається одноразове підварювання АрДЗ.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні зварювання тертям з перемішуванням силових фрагментів корпусу зерновозів.

6.1 Аналіз потенціальних небезпек

Незадовільна організація та забезпечення безпеки на робочому місці, що може бути пов'язана з неефективним проведенням організаційних заходів щодо навчання та перевірки знань з питань охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки.

Ураження електричним струмом. Причинами ураження можуть бути порушення правил електробезпеки, вплив електричного струму при виникненні витоку на корпус обладнання або у землю.

Можливість механічного травмування, що пов'язано з порушенням правил охорони праці, порізи при контакті з гострими кромками листових заготовок, потраплянням в очі стружки або абразиву, через не використання спеціального одягу, або використання несправного обладнання та інструментів.

Термічні опіки можливі бути в наслідок випадкового торкання до нагрітих поверхонь виробу, зварювального інструменту, нагрітим експериментальним зразкам нероз'ємного з'єднання.

Небезпеки пов'язані з виконанням контрольної операції, а саме використання ультразвукового метода. Вплив ультра звуку та шуму на органи слуху.

Небезпеки пов'язані із впливом хімічних речовин на шкіру та верхні дихальні шляхи.

Невідповідність освітлення робочої зони та зони контролю, внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів. Може призвести до погіршення здатності розрізнити об'єкти, а в результаті і до травмування.

Порушення вимог пожежної безпеки, захаращення проходів і робочої зони, може призвести до загорянь та пожежі.

Непідготовленість працівників в умовах надзвичайної ситуації різного характеру до дій в умовах настання цієї ситуації, що може привести до неприємних наслідків.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено: на підприємстві (робочому місці) для кожного працівника повинні бути створені здорові і безпечні умови праці. Тому потрібно дотримуватись основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення, якщо це є можливо і реально;
- обмеження, яких неможливо уникнути;
- усунення у першоджерелах, виключення або обмеження максимально впливу шкідливих і небезпечних виробничих чинників;
- пріоритет забезпечення засобів колективного захисту над індивідуальними;
- врахування, зокрема, людського фактору під час вибору засобів виробництва, організації праці, технології, устаткування робочих місць тощо.

Всі працівники мають пройти навчання і перевірку знань з питань охорони праці згідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити повну та вичерпну інформацію персоналу з питань охорони праці, як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі шкідливі та небезпечні ситуації, заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий).

Перед допуском до проведення операцій, що виконуються при проведенні технологічного процесу отримання нероз'ємних з'єднань, особи, які беруть участь у його виконанні, проходять інструктаж щодо безпечних прийомів виконання робіт із реєстрацією в журналі за встановленою формі. Інструктаж повинен проводитися періодично у строки, встановлені наказом по підприємству.

Для запобігання ураженню електричним струмом застосовуються основні заходи захисту, згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

Для захисту від ураження електричним струмом при нормальному режимі роботи електроустановки повинні бути застосовані заходи захисту від прямого дотику (для цієї установки: основна ізоляція струмопровідних частин і застосування малої напруги) непрямого дотику (захисне заземлення, занулення, автоматичне відключення живлення та ін.).

Безпосередньо в процесі експлуатації установки працюючому необхідно перед початком виконання робіт переконатися у цілісності їх ізоляції або, у разі її відсутності, переконатися, що вони розташовані поза зони досяжності для працюючого. Засобами індивідуального захисту під час роботи з установками напругою менше 1000 В використовуються діелектричні рукавички та килимки відповідно до НПАОП 24,9-1.21-98

«Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», НПАОП 40.1-1.01.97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно виконувати вимоги інструктажів з охорони праці при роботі на металообробному обладнанні згідно ДНАОП 1.1.10- 1.04-01 “Правила безпечної роботи з інструментом і пристосуваннями”, ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивным и эльборовым инструментом» використання абразивних кіл з дефектами заборонено, абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування, порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування, біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину, при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами, підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм.

Використовувати індивідуальні засоби захисту, для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів та рукавиці ГОСТ 12.4.002-97 «Средства защиты рук от вибрации».

Виконання персоналом вимог інструкції з охорони праці під час проведення зварювальних робіт, використання засобів індивідуального захисту рук (рукавички захисні за ДСТУ EN 388:2016)

При проведенні робіт з контролю методами ультразвукової дефектоскопії дефектоскопіст повинен керуватися діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів та правилами техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів" затвердженими 25.07.2006 № 258 та ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту»

При ультразвуковому контролі слід керуватися ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Для захисту рук від впливу ультразвуку під час контактної передачі, контактних середовищ тощо. дефектоскопісти повинні працювати у рукавицях чи рукавичках, нарукавниках, які не пропускають вологу та контактне середовище.

При цьому необхідно застосовувати дві пари рукавичок: зовнішні – гумові та внутрішні – бавовняні або двошарові за ГОСТ 20010-93.

Для захисту впливу від ультра звуку на органи слуху застосовувати протишумні навушники ГОСТ 12.4.051-87.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249.

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», для робіт на постійних і не постійних робочих місцях.

Для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року:

- в холодний період року: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

Для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року:

- в холодний період року: допустима температура 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року: допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 %. при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

Ці параметри забезпечуються системами загальнообмінної й місцевої вентиляції та опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Для опалення виробничих приміщень в холодну пору року, передбачена система центрального опалення.

На ділянці механічної обробки та зварювання застосовуємо загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію. Вентиляція досягається видаленням забрудненого або нагрітого повітря з приміщення та подачею в його свіжого повітря.

На ділянці механічної обробки та зварювання застосовуємо загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію та місцеву витяжну вентиляцію.

Кожне робоче місце також обладнується витяжним відсмоктуванням – парасолькою, відкритою конструкцією, що всмоктує отвір якої, наближено до джерела виділень. Рухливість повітря в зоні зварювання має бути 0,2 - 0,5 метрів за секунду.

Визначимо необхідний об'єм повітря L , що віддаляється від місцевих відсмоктувачів за формулою:

$$L=3600 \cdot F \cdot V, \quad (6.1)$$

де F – сумарна площа робочих проємів та нещільностей, м²;

V – швидкість всмоктування повітря робочому ділянці, $V = 0,5$ м/с;

$$L = 3600 \cdot 0,36 \cdot 0,5 = 648 \text{ м}^3/\text{с}$$

З розрахунку видно, що об'єм повітря віддалений від місцевих відсмоктувачів складає $L = 648 \text{ м}^3/\text{с}$.

В результаті проведених розрахунків вибираємо радіальний вентилятор FUK - 2700 SP з двигуном типу AIP 80B2У3, потужністю 2,2 кВт.

У приміщенні, згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працівників. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організму. Сонячне випромінювання зігріває та знезаражує повітря, очищуючи його від збудників багатьох хвороб. Природне освітлення має і психологічну дію, створюючи в приміщенні для працівників відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям. Природне освітлення по відношенню до штучного не вимагає затрат на експлуатацію.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим.

Загальним - освітлення, за якого світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць. Рівень штучного освітлення вибирають з врахуванням найменшого розміру об'єкту, контрасту об'єкту з фоном і характеристики фону.

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого (крізь віконні отвори і ліхтар будівлі).

Рівень шуму у виробничих приміщеннях та на робочих місцях нормується відповідно до вимог відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Захист персоналу від шуму, в виробничих приміщеннях і на робочих місцях забезпечується згідно вимог ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

6.4 Заходи пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) приміщень ділянки визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» і СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Комплекс протипожежних заходів для приміщення розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні - згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В); - відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення ділянки належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні дільниці встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика. Оскільки приміщення дільниці має площу 900 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 45 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення).

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

У процесі роботи на дільниці можливі надзвичайні ситуації, оскільки використовується електричне обладнання та інструменти. Не виключена можливість виникнення пожежі. Основною причиною вибухів та пожеж під час роботи є порушення правил експлуатації та техніки безпеки при роботі з електричним обладнанням, підключеним до мережі. Отже, при роботі з обладнанням необхідно дотримуватися техніки безпеки заснованої на ТОІ Р - 45-068-97: електроінструменти та електричні машини повинні бути безпечними у роботі, не мати доступних для випадкового дотику струмопровідних частин, не мати пошкоджень корпусів та ізоляції живлячих дротів.

До основних видів техніки, призначеної для захисту різних об'єктів від пожеж, належать засоби сигналізації та пожежогасіння. У корпусі передбачена електрична пожежна сигналізація. Вона повинна швидко та точно повідомляти про пожежу із зазначенням місця її виникнення.

Сигналізація забезпечує також автоматичне введення в дію передбачених на об'єкті засобів пожежогасіння та димовидалення.

Найбільш широко застосовуваним засобом гасіння є вода. Для такого способу гасіння передбачені пожежні крани. В якості первинних засобів пожежогасіння використовують вогнегасники. В якості вогнегасників у корпусі поширені вогнегасники вуглекислотні ОУ 5. Переваги вуглекислотних вогнегасників: ефективність гасіння рідких та газоподібних речовин та електроустановок під напругою до 1000 В; відсутність слідів гасіння; діапазон робочих температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При займанні та пожежі у виробничому приміщенні має бути здійснено аварійну зупинку технологічного процесу та відключено живильні рубильники. При необхідності персонал повинен бути евакуйований з виробничих приміщень.

Для забезпечення успішної евакуації на стінах у коридорах повинні бути розміщені плани евакуації, співробітників треба з ними ознайомити. Також слід призначити відповідального за проведення евакуації, відповідального за справність дверних прорізів, проходів, сходів та своєчасне відкриття евакуаційних виходів. Для забезпечення своєчасної першої допомоги всі співробітники повинні знати правила її надання. Необхідні медикаменти зберігаються в аптечці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы в авиационных приборах в периоды 1970–2000 и 2001–2015 гг // Технология легких сплавов. 2002. № 4. 12-17с.
2. Рязанцев В. И., Федосеев В.А. Сварка конструкций орбитального самолета «Буран» // Сварочное производство.1997. № 4. 31–36с.
3. Горынин И. В, Золотаревский Ю. С, Рыбин В.В., Чижиков В. В. Металлургические концепции создания деформируемых алюминиевых сплавов для быстроходных морских судов // Вопросы металловедения.1999. №3.197–209с.
4. Raghuram V. Fatigue fracture and microstructural analysis of friction stir welded butt joints of aerospace aluminum alloys: Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering. Visweswaraiah Technological University, 2009.162 с.
5. Овчинников В.В. Исследование свариваемости и разработка технологии сварки распределенными источниками тепла алюминиево-литиевых сплавов. 2003, 337 с.
6. Yang Y. et al. Automatic Gap Detection in Friction Stir Butt Welding Operations. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, vol. 48.
7. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham [et al.]. Friction stir butt welding: 'at. 5460317 US.1995
8. Dawes C.J. An introduction to friction stir welding and its development. Weld. and Metal Fabr. 1995. N 1. 13–16p.
9. Dawes C.J., Thomas W.M. Friction stir process welds aluminum alloys. Welding J. 1996. N 3. 41–45p.
10. Defalco J. Friction stir welding vs. fusion welding. Ibid. 2006. N 3. 42–44p.
11. Hinrichs J.F., Norik J.S., McDonald R.J. Challenges of welding aluminium alloys for automotive structures. Svetsaren. 2001. N 12

12. Nandan R. et al. Recent advances in friction stir welding process, weldment structure and properties. Progress in Materials Science. 2008. Vol. 53.
13. Ищенко А.Я. и др. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) // Автоматичная сварка. 2007. № 11, 32–38с.
14. Nandan R. et al. Recent advances in friction stir welding process, weldment structure and properties. Progress in Materials Science. 2008. Vol. 52.
15. Штрикман, М.М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений. Ч.3. Промышленное применение процесса СТП. Сварочное производство. издательский центр "Технология машиностроения". 2007. N11. 36-45 с.
16. Kwanghyun P. Development and analysis of ultrasonic assisted friction stir welding process: A dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering). University of Michigan. 2009. 125 p.
17. Khaled T. An outsider look into Friction Stir Welding. 2005
18. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение) справочник. Киев: КОМИНТЕХ. 2005. 365 с
19. Рабкин Д.М., Лозовская А.В., Склабинская И.Е. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. Киев: Наук. думка. 1992. 160 с.
20. Машин В.С., Покляцкий А.Г., Федорчук В.Е. Механические свойства соединений алюминиевых сплавов при сварке плавящимся и неплавящимся электродом // Автомат. сварка. 2005. № 9. 43–49 с.
21. Покляцкий А.Г. Особенности образования макровключений оксидной пленки в металле швов алюминиевых сплавов (Обзор) // Автомат. сварка. 2001. № 3. 38–40 с.
22. Ю. В. Клименко. пат. 195846 СССР, МПК 23 В к 35/02. Способ сварки металлов трением. Оpubл. 04.05.67, Бюл. № 10.
23. Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C. et al.. Int. Pat. Application № PCT/GB 92/02203; GB Pat. Application № 9125978.8. Friction Stir Butt Welding. Publ. 1991

24. Shibayanagi T. Microstructural aspects in friction stir welding. J. of Japan Institute of Light Metals. 2007. № 9. 416–423
25. Pietras A., Zadroga L. Rozwój metody zdrzewania tarcowego z mieszaniami materiału zgrzeiny (FSW) i możliwości jej zastosowania. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. 2003. № 5. 148–154
26. Sato Y. Relationship between Mechanical Properties and Microstructure in Friction Stir Welded Al alloys. J. of the Japan Welding Soc. 2002. №8. 33-36.
27. Larsson H., Karlsson L., Svensson L. Friction Stir welding of AA5083 and AA6082 aluminium alloys. Svetsaren. 2000. № 2. 6–10.
28. Kluken A. Ranens M. Aluminium bridge constructions – welding technology and fatigue properties. Ibid. 1995. № 3. 13–15.
29. Ericsson M. Sandstrom R. Influence of melting speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG. Intern. J. of Fatigue. 2003. № 25.
30. Lanciotti A., Vitali F. Characterization of friction welded joints in aluminium alloy 6082-T6 plates. Welding International. 2003. № 8.
31. Jata K.V., Sankaran K.K., Ruschau J.J. Friction stir welding effects on microstructure and fatigue of aluminum alloy 7050-T7451. Metallurgical Transactions. 2000. – Vol. 31A.
32. Dawes C.J. and Thomas W.M. Friction stir process welds aluminum alloys. Welding Journal, 1996. 41 – 45.
33. Research, pages 203–211, Materials Park, Ohio, USA, 2003. ASM International
34. Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C. et al. Friction stir butt welding / US Pat. No 5 460 317. 1991.
35. Thomas W.M., Dawes C.J. et al., Friction Stir Butt Welding, International Patent Application PCT/GB92/02203 and G.B. Patent Application 9125978.8, Dec 1991

36. Thomas W.M. and Dolby R.E. Friction stir welding developments. In S.A. David, T. DebRoy, J.C. Lippold, H.B. Smartt, and J. M. Vitek, editors, 6th Int. Trends in Welding.
37. Cho J.H., Boyce D.E., and Dawson P.R. Modeling strain hardening and texture evolution in friction stir welding of stainless steel. *Materials Science and Engineering A*, 398:146–163, 2005
38. Покляцький А.Г., Іщенко А.Я., Під'ельніков С.В. Вплив параметрів процесу зварювання тертям з перемішуванням формування швів з'єднань алюмінієвих сплавів товщиною 1,8...2,5 мм // Автоматичне зварювання. 2008. №10. 27-30 с.
39. Третьяк Н.Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор // Автоматическая сварка. 2002. № 7, 12–21 с.
40. Овчинников В.В., Дриц А.М., Бакшаев В.А. Деформационно-деформационные свойства пластинчатых сварных швов из алюминиевого сплава АД0, выполненных сваркой плавлением и трением с перемешиванием //Наукоемкие технологии в машиностроении. 2012. №8. 3-10 с
41. FSW Technical Handbook, ESAB AB, Welding Automation, SE-695 81 LAXÅ, Sweden. 2012. P.52. www.esab.com.
42. Iwashita T. Method and Apparatus for Joining. US Patent 6601751 B2, Aug. 5, 2003.,
43. Mishra R. S. Friction stir welding and processing / ed. by Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney – ASM International. 2007. 360 p.
44. Kuriyama, T. Advantages of Aluminum Alloy Rolling Stocks and Transition of Carbody Structures. *Journal of Light Metal Welding and Construction*. 2008. No9. 418–421
45. Лащенко Г. І. – «Сучасні технології зварювального виробництва» Київ.: Екотехнологія, 2012. — 720 с.
46. W. M. Thomas, D. G. Staines, I. M. Norris & R. de Frias - Friction Stir Welding Tools and Developments;

47. Thomas, W.M., Braithwaite, A.B.M., and John, R., “Skew-Stir™ technology” Proc. 3rd International Friction Stir Welding Symposium, Kobe, Japan, 27–28 Sept. 2001.
48. Дриц А.М., Овчинников В.В. Сварка алюминиевых сплавов. М.: Руда и металлы, 2013. 440 с.
49. Фролов В.А., Иванюхин А.Н., Сабанцев А.Н. и др. Сварка трением с перемешиванием – плюсы и минусы // Сварочное производство. 2008. № 10. С. 12–19.
50. Карманов В.В., Каменева А.Л., Карманов В.В. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: сущность и специфические особенности процесса, особенности структуры сварного шва // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2012. № 32. 67–80.
51. Лукин В.И., Оспенникова О.Г., Иода Е.Н., Пантелеев М.Д. Сварка алюминиевых сплавов в авиакосмической промышленности // Сварка и диагностика. 2013. № 2. 47–51 с.
52. Овчинников В.В. Технологические особенности сварки трением с перемешиванием алюминиевых и магниевых сплавов (обзор). // Машиностроение и инженерное образование. 2016. № 4. 22–45 с.
53. Ищенко А.Я., Подбельников С.В., Покляцкий А.Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 11. 32–38 с.
54. Филиппов А.В., Тарасов С.Ю., Колубаев Е.А., Рубцов В.Е. Определение дефектов в виде заглаженного непровара после сварки трением с перемешиванием // Фундаментальные исследования. 2012. № 6. 296–310.
55. Дриц А.М., Овчинников В.В. Влияние подварок на свойства сварных соединений сплавов 1565ч и 1460, выполненных аргонодуговой сваркой и сваркой трением с перемешиванием // Технология легких сплавов. 2013. № 4. 65–77 с.
56. Gibson V.T., Lammlein D.H., Prater T.J., Longhurst W.R. et al. Friction stir welding: Process, automation and control. Journal of Manufacturing

Processes. 2014. Vol. 16. Issue 1. P. 56–73. ISSN 1526-6125. DOI: 10.1016/j.jmapro.2013.04.002.

57. Sutton M.A., Yang B., Reynolds A.P., Taylor R. Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminum. *Materials Science and Engineering A*. 2002. Vol. 323. P. 160–166.

58. Rubtsov V., Tarasov S., Kolubaev E., Psakhie S. Ultrasonic Phase Array and Eddy Current Methods for Diagnostics of Flaws in Friction Stir Welds. *AIP Conference Proceedings*. 2014. Vol. 1623. P.