

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет Львівського інституту
(назва факультету)

Руководний склад завісників і шкілі
(назва назви кафедри)

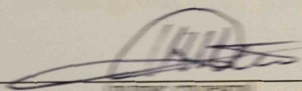
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Підвищення надійності залізничних конструкцій шляхом покращення якості зварних з'єднань»

за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

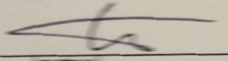
Виконав:

студент групи: ДП 19017


(підпис студента)

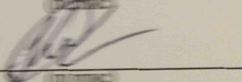
Тарас КАРПІНКА
(підпис студента)

Керівник:


(підпис)

доцент Микола КУЗІН
(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:


(підпис)

викладач Ірина КРАВЕНЬ
(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

(назва розділу)

(підпис)

(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

(підпис, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Львів – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет Львівського інституту
(назва факультету)

Рухомий склад залізниць і колія
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Підвищення надійності залізничних конструкцій шляхом покращення якості зварних з'єднань»

за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи:

	/	Тарас КАРПИНКА	/
(підпис студента)		(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	

Керівник:	/	доцент Микола КУЗІН	/
(підпис)		(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	

Нормоконтролер:	/	викладач Іван КРАВЕЦЬ	/
(підпис)		(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	

Консультанти:

(назва розділу)	(підпис)	/	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	/
(назва розділу)	(підпис)	/	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	/
(назва розділу)	(підпис)	/	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	/
(назва розділу)	(підпис)	/	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	/

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Львів – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Lviv Institute

(faculty)

Railway rolling stock and track

(department)

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

(higher education degree)

on the topic: Improving the reliability of railway structures by improving the
quality of welded joints

according to educational curriculum Locomotives and locomotive
establishment

in the Speciality: 273 Railway transport

(speciality and its code)

Done by the student of the group:

/ Taras Karpinka /
(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ assistant professor Mykola Kuzin /
(position, name, surname)

Normative controller :

/ lecturer Ivan Kravets /
(position, name, surname)

Supervisors

_____ (Chapter title heading)	/ _____ / (position, name, surname)
_____ (Chapter title heading)	/ _____ / (position, name, surname)
_____ (Chapter title heading)	/ _____ / (position, name, surname)
_____ (Chapter title heading)	/ _____ / (position, name, surname)

Lviv – 2022

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Аналіз нормативної літератури щодо використання процесів зварювання при ремонті тягового рухомого складу	7
1.1 Основні етапи процесу ремонту тягового рухомого складу	7
1.2 Методи зварювання тягового рухомого складу згідно інструкцій	8
1.3 Висновки	12
2 Особливості утворення дефектів у зварних з'єднаннях	13
2.1 Види гарячих і холодних тріщин	13
2.2 Оцінка схильності сталей до утворення тріщин при зварюванні	19
2.3 Висновки	24
3 Технологічна оптимізація процесу зварювання для підвищення надійності залізничних конструкцій	25
3.1 Вплив умов експлуатації на довговічність виробів	25
3.2 Технологічні гальмування росту тріщин при зварюванні	28
3.3 Висновки	32
Висновки	33
Перелік посилань	34

					0041.190544.01.ВКР.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення надійності залізничних конструкцій шляхом покращення якості зварних з'єднань	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив		КАРПИНКА Т.	<i>Карпінка Т.</i>	14.06					
Консультант			<i>[Signature]</i>				5	34	
Керівник		КУЗІН Микола	<i>Кузін Микола</i>	14.06		ЛІ УДУНТ			
Н. Контр.		КРАВЕЦЬ Іван	<i>Кравець Іван</i>	14.06.22					
Зав. каф.		БАЛЬ Олена	<i>Баль Олена</i>	<i>[Signature]</i>					

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Львівського інституту
Кафедра: Рухомий склад залізниць і колія
Рівень вищої освіти: бакалавр
Освітня програма: Локомотиви та локомотивне господарство
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
_____ Олена БАЛЬ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

студенту Карпинці Тарасу Олеговичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення надійності залізничних конструкцій шляхом покращення якості зварних з'єднань»

Керівник роботи: Кузін Микола Олегович, д.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від _____ " 26 " 11 2021 р. № 38 ст

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: вимоги із надійності зварних конструкцій рухомого складу, що наведені у науковій та технічній літературі

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: підходи з нормативно-технічної, наукової літератури із питань експлуатаційної надійності зварних конструкцій рухомого складу

4.2 Основна частина: аналіз методів підвищення експлуатаційної надійності зварних конструкцій, надання практичних рекомендацій

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища:

4.4 Економічна частина:

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
графічна частина не передбачена

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Всі розділи	Кузін М.О., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз нормативної та технічної літератури щодо вимог до зварних конструкцій рухомого складу	28.04.22	
2	Особливості технологій отримання зварних з'єднань рухомого складу	12.05.22	
3	Оптимізація технологій зварювання для підвищення експлуатаційної надійності рухомого складу	26.05.22	
4	Надання практичних рекомендацій	01.06.22	
5	Оформлення аналітичної частини роботи	08.06.22	
6	Повне оформлення роботи	09.06.22	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.06.22	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

(підпис)

Тарас КАРПИНКА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Микола КУЗІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:
(рівень освіти)

34 с., 6 рис., 8 джерел.

Об'єкт розробки – зварні конструкції рухомого складу.

Мета роботи – підвищення надійності зварних конструкцій рухомого складу.

Методи дослідження – порівняльні та описові методи аналізу літературних джерел.

Визначено технологічні шляхи підвищення довговічності та надійності зварних з'єднань у конструкціях рухомого складу.

Результати роботи можуть стати основою для технологічної оптимізації зварних конструкцій рухомого складу.

Ключові слова: ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ, ТЕХНОЛОГІЇ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ, МЕТОДИКИ ГАЛЬМУВАННЯ ТРІЩИН

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Працездатність зварних з'єднань в значній мірі залежить від внутрішньої будови зварного шва, навколошовної зони та зони термічного впливу.

Управляючи параметрами даних зон можливо в широких межах змінювати експлуатаційні параметри зварних з'єднань і, як результат, довговічність самого виробу.

Вирішення цієї актуальної задачі по підвищенню надійності зварних з'єднань дозволить значно підвищити економічну ефективність роботи галузі, забезпечити її конкурентоспроможність на ринку перевезень, зменшити негативний вплив людського чинника на функціонування транспорту та підвищити безпеку руху.

В цьому зв'язку можна вважати, що інженерне обґрунтування технологій підвищення життєвого циклу зварних конструкцій рухомого складу набуває надзвичайно важливе значення.

Дана робота і призначена як раз інженерному обґрунтуванню технологій підвищення довговічності зварних з'єднань тягового рухомого складу, що дозволить у подальшому підвищити ресурсозбереження при функціонуванні транспортних систем.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		6

1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

1.1 Основні етапи процесу ремонту тягового рухомого складу

Ремонт під час експлуатації тягового рухомого складу є одним із визначальних процесів, який забезпечує заданий рівень надійності залізничної техніки.

Періодичність, порядок процесу ремонту локомотивів описані у відповідних нормативних документах, зокрема [1].

У даному розділі дипломної роботи зупинимось на етапах процесу ремонту тягового рухомого складу і розглянемо їх в узагальненій постановці.

При цьому будемо базуватись на літературному джерелі [2].

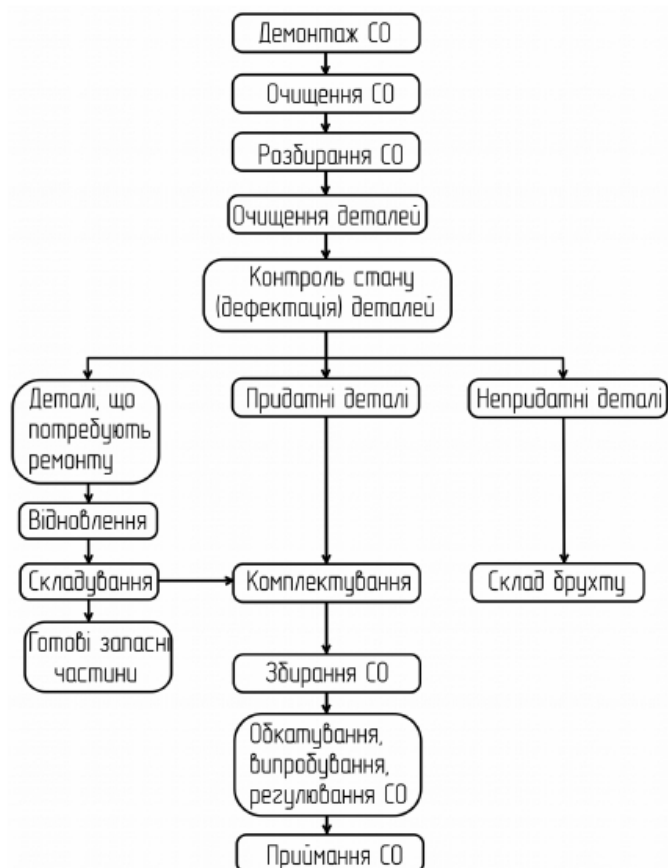


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу ремонту складальної одиниці (СО)

Однією із складовою процесу відновлення деталей є процес зварювання деталей.

Процес зварювання деталей достатньо чітко регламентований інструкцією ЦТ-0227 «Тяговий рухомий склад. Зварювання, наплавлення та напилення. Правила ремонту» [3].

Розглянемо методи зварювання у наступному пункті даного розділу.

1.2 Методи зварювання тягового рухомого складу згідно інструкцій

Методи зварювання тягового рухомого складу детально описані у документі [3].

Згідно даного нормативного документа при ремонті тягового рухомого складу використовуються наступні види зварювання: ручне дугове зварювання, автоматичне та механізоване (напівавтоматичне) зварювання під флюсом, зварювання порошковим дротом, зварювання у вуглекислому газі, зварювання у газових сумішах, наплавлення електродами та порошковим дротом, вібродугове наплавлення, газотермічне напилювання та наплавлення, багатоелектродне наплавлення, індукційне наплавлення, устаткування для дугового зварювання та наплавлення, газополум'яна обробка металу, газопресове зварювання, зварювання кольорових металів, пайка та лудіння, повітряно-дугове різання металу, контактне зварювання, зварювання чавуну, наплавлення деталей зі сплаву ЦАМ.

Регулювання технологічного процесу зварювання описані у розділі п. 4.22 – 4.23.

Способи підвищення міцності зварних з'єднань поверхневим зміцненням описані у п. 4.24 даної Інструкції.

Контроль якості зварних з'єднань проводиться згідно п. 4.27.

Ремонт конкретних деталей та вузлів рухомого складу проводяться згідно пунктів 5 – 9 Інструкції [3].

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

Розглянемо основні заходи щодо підвищення надійності місць зварювання за рахунок зменшення напружень і деформацій під час зварювання даної Інструкції.

Як відмічається у даній інструкції, під час зварювання при нерівномірному нагріві виникають напруження, які можуть бути причинами руйнування деталей.

При цьому пропонуються наступні способи зменшення напружень:

при підготовці деталей рухомого складу до зварювання:

- установити можливість заміни ручного дугового зварювання на автоматичне або механізоване у захисному середовищі (це стосується зварювання тонколистових конструкцій, зокрема, кузова локомотивів тощо);

- звільнити частини, що зварюють, від жорсткого закріплення;

- для конструкцій з низьковуглецевих або низьколегованих сталей застосовувати попередній і супутній місцевий підігрів до температури від 200°C до 250°C на ділянці шириною від 40 мм до 50 мм по обидві сторони шва;

- сферично (по радіусі) попередньо вигнути вставки, які вварюють в плоскі стінки.

при безпосередньому процесі зварювання:

- застосовувати шви з найменшою кількістю наплавленого металу, що забезпечує міцність зварного з'єднання, а також обробляти кути та зазори з дотриманням вимог стандартів, кресленням і технічними умовами на них;

- шви довжиною більше ніж 300 мм зварювати від їх середини до країв або зворотньоступеневим способом;

- некрізні тріщини, що виходять на кромку, заварювати від кінця тріщини до кромки конструкції;

- у деталях, що мають кілька стикових швів, спочатку заварювати шви, розташовані впоперек силового потоку;

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

- під час накладання замкнутих кільцевих швів виконувати їх «врозкид», а під час зварювання багат шарових швів застосовувати східчастий (каскадний) спосіб зварювання;

- у багат шарових швах після очищення шлаку застосовувати проковування (крім першого та останнього шва) тупим зубилом з радіусом притуплення від 2 мм до 3 мм за умов, коли температура металу шва становить 450°C і вище або 50°C і нижче.

після процесу зварювання:

- повний відпал – нагрівання деталі до певної температури (залежно від марки сталі), витримка за цієї температури та повільне її охолодження разом з піччю;

- нормалізація – нагрівання деталі до температури, аналогічної відпалу, витримка за цієї температури та подальше повільне її охолодження на спокійному повітрі в приміщенні за нормальної температури;

- високий відпуск – нагрівання до температури від 600°C до 650°C із витримкою за цієї температури протягом часу від 2 хв до 3 хв на кожен міліметр товщини металу з подальшим охолодженням на повітрі (застосовують головним чином для зварних конструкцій, де залишкові напруження знімають на 85 %);

- оброблення місця переходу зварного шва на основний метал методами аргано-дугового оплавлення, наклепом високочастотною механічною проковкою або пневматичним молотком з багатобійковим зміцнювачем відповідно до 4.24 даної Інструкції.

До способів зменшення деформації деталей під час процесу зварювання та після нього відносять: штучне охолодження деталі; термічне виправлення; механічне виправлення; зварювання із жорстким закріпленням деталей і звільненням їх від затисків лише після повного остигання; зворотні деформації; вібраційна обробка (вібраційна обробка полягає у створенні в конструкції змінних напружень певної величини спеціальними віброзбуджувачами).

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

Серед способів підвищення міцності зварних з'єднань поверхневим зміцненням виділяють наступні [3]: поверхневого пластичного деформування металу, механічну та аргоно-дугову обробку зварних швів та біляшовної зони.

Під час технологічного процесу зварювання контролюють:

- основний метал;
- зварювальні матеріали;
- якість складання;
- підготовку кромek (обробка);
- стан поверхонь, що підлягають зварюванню та наплавленню;
- режими зварювання і наплавлення;
- якість зварювальних швів;
- якість наплавлення.

Згідно Інструкції [3], контроль якості зварних з'єднань має бути зазначений в конструкторській або технічній документації і проводитись наступними способами:

- візуально-оптичним контролем (огляд) та вимірюванням;
- випробуванням непроникності та герметичності;
- визначенням механічних властивостей зварних з'єднань;
- радіаційним методом;
- ультразвуковою дефектоскопією;
- магнітопорошковим методом;
- металографічним аналізом;
- капілярним методом;
- магнітним методом;
- визначенням корозійної стійкості зварного з'єднання;
- спектральним аналізом, тощо.

Вибір методів контролю потрібно визначати відповідністю зварної конструкції і наявністю методики контролю, затвердженої в установленому порядку.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		11

1.3 Висновки

1. Розглянуті основні етапи процесу ремонту тягового рухомого складу.
2. Показано, що однією із складових даного процесу є процес зварювання деталей.
3. Наведені основні методи зварювання тягового рухомого складу згідно нормативних документів УЗ.
4. Показані методи зменшення напружень у деталях, що зварюються, та контролю процесу зварювання. Разом із тим методи оптимізації структурного стану зони зварного з'єднання не наведені.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		12

2 ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ

2.1 Види гарячих і холодних тріщин

Питання якості і надійності зварних з'єднань і конструкцій нерозривно пов'язані з проблемами вивчення процесів виникнення і розвитку дефектів та розробки методів їхнього попередження. У процесі виробництва зварної конструкції (зварювальних робіт) часто необхідно оперативно встановлювати причини і вид дефектів та рекомендувати шляхи їхнього виправлення. Правильне рішення звично пропонує спеціаліст, який знає технологію, дефектоскопію та експлуатаційну надійність виробу [4].

У зварювальному виробництві прийнято розділяти дефекти підготовки і складання виробів під зварювання (наплавлення, напилювання) і власне зварювальні (технологічні) дефекти. Перша група дефектів у значній мірі пов'язана з правильним вибором технології підготовчих операцій, дотриманням режимів обробки і вимог креслення, культурою виробництва і у даному посібнику не розглядається.

Зварювальні технологічні дефекти в загальному випадку класифікуються за їхніми типами, пов'язаними з геометричними ознаками і масовістю утворення (рис. 2.1).

При оцінці допустимості дефекту варто пам'ятати, що дефект більше всього впливає на схильність до крихкого руйнування і руйнування від втомленості [4, 6]. На всі види руйнування найбільший вплив роблять площинні дефекти. При цьому значення має не тільки розмір окремого дефекту, а й взаємне розташування і кількість дефектів. Для гострих площинних дефектів характерні високі концентрації напружень у їхній основі. Просторові дефекти мають кінцевий радіус заокруглення і є менш небезпечними, навіть якщо утворюють скупчення. Але неметалічні включення і пори можуть істотно знижувати інші важливі експлуатаційні властивості - корозійну стійкість, опір повзучості, порушення герметичності і т.д.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

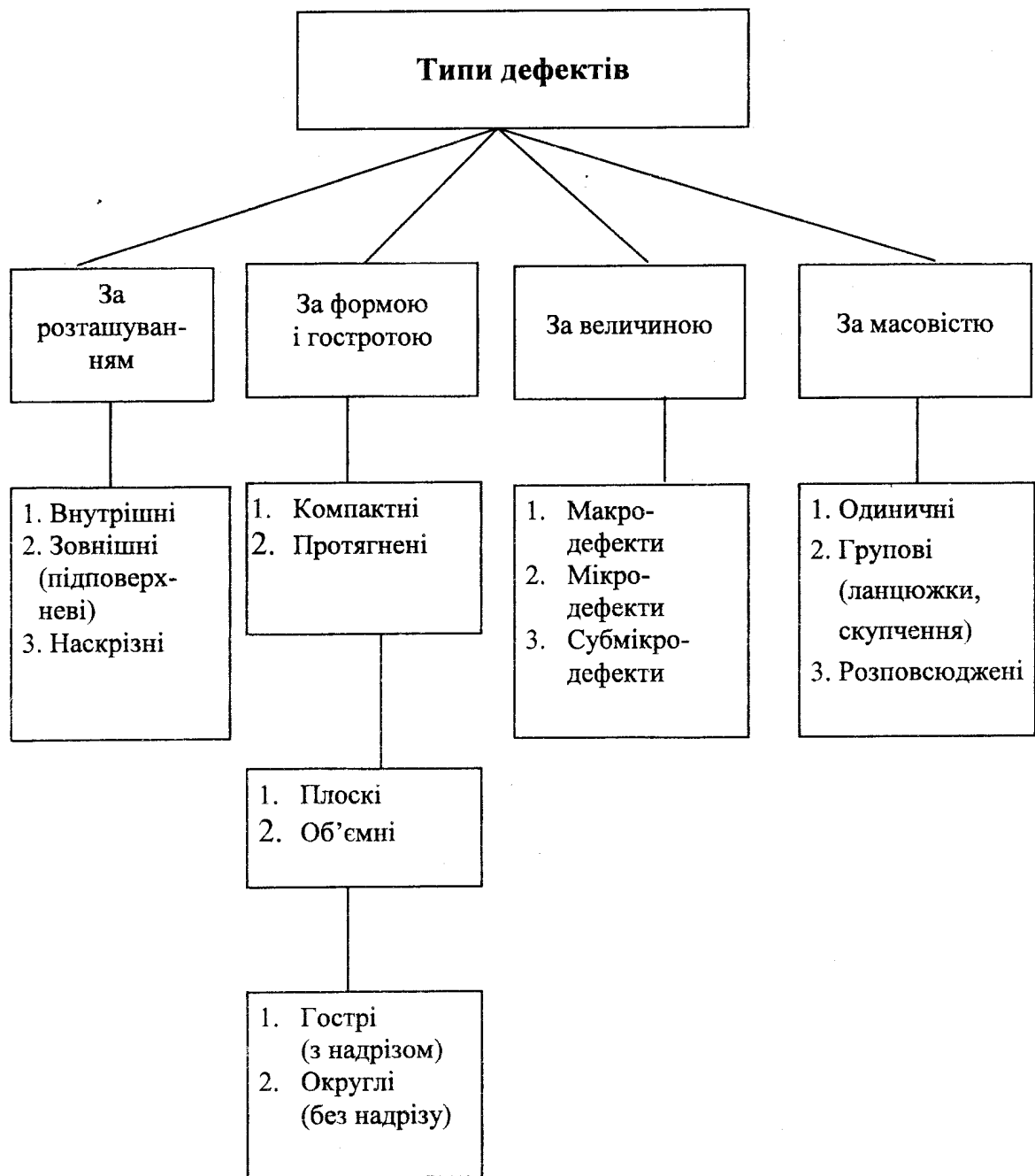


Рисунок 2.1 – Класифікація зварних дефектів за типами

Згідно [4], гарячі тріщини - один із найбільш небезпечних видів дефектів зварних з'єднань. Вони утворюються при температурах, близьких до температури плавлення. Навіть низьковуглецеві нелеговані сталі, які вважаються такими, що добре зварюються, за певних умов зварювання можуть бути схильними до утворення гарячих тріщин. Проблема запобігання

таких тріщин особливо актуальна і при зварюванні високоміцних легованих сталей, оскільки у зоні зварного з'єднання вони набувають своєї міцності тільки після фазового $\gamma \rightarrow \alpha$ - перетворення або старіння (дисперсійного твердіння), а при високих температурах мають структуру і властивості, подібні низьковуглецевим сталям.

Здатність зварного з'єднання сприймати без руйнування деформації, викликані термодеомаційним циклом зварювання, визначає рівень його технологічної міцності.

Гарячі тріщини являють собою міжкристалітне руйнування металу під дією зусиль, що виникають у ньому під час процесу охолодження. При застиганні металу одночасно з його усадкою (деформацією) відбувається різка зміна пластичності (деформаційної здатності). Інтервал температур, у якому пластичність близька до нуля, називається температурним інтервалом крихкості (ТІК). В залежності від того, як протікають ці два процеси у часі, може виявитися, що максимальна лінійна усадка співпадає з ТІК, і в момент, коли розмір усадки перевищить розмір можливого лінійного подовження металу $\delta_{\min}$ (криві 1 і 2 на рис. 2.2), відбувається його руйнування.

Гарячі тріщини підрозділяють на кристалізаційні - такі, що утворюються у твердорідкому стані вище температури солідуса (рис. 2.2, крива 1) за схемою руйнування під дією пружно-пластичної деформації двофазної системи рідина-кристаліти, і підсолідусні, що утворюються у твердому стані нижче температури солідуса (рис. 2.2, крива 2). Якщо для даного металу або даних умов зварювання деформація буде відповідати кривій 3 (рис. 2.2), то гарячі тріщини не утворюються.

Розглянемо види гарячих тріщин.

Гарячі тріщини можуть виникати в металі шва (повздовжні і поперечні), зоні сплавляння і ЗТВ (зоні термічного впливу) (також повздовжні і поперечні) (рис. 2.3). Гарячі тріщини добре виявляються при макро- і мікрометалографічному аналізі зварних з'єднань. Вони можуть бути

відкритими, тобто виходити на поверхню з'єднання, і закритими (внутрішніми).

В усіх випадках чітко спостерігається міжкристалітний характер розвитку тріщин. У той же час для заданого хімічного складу схильність металу шва до утворення гарячих тріщин у великій мірі залежить від характеру кристалізації.

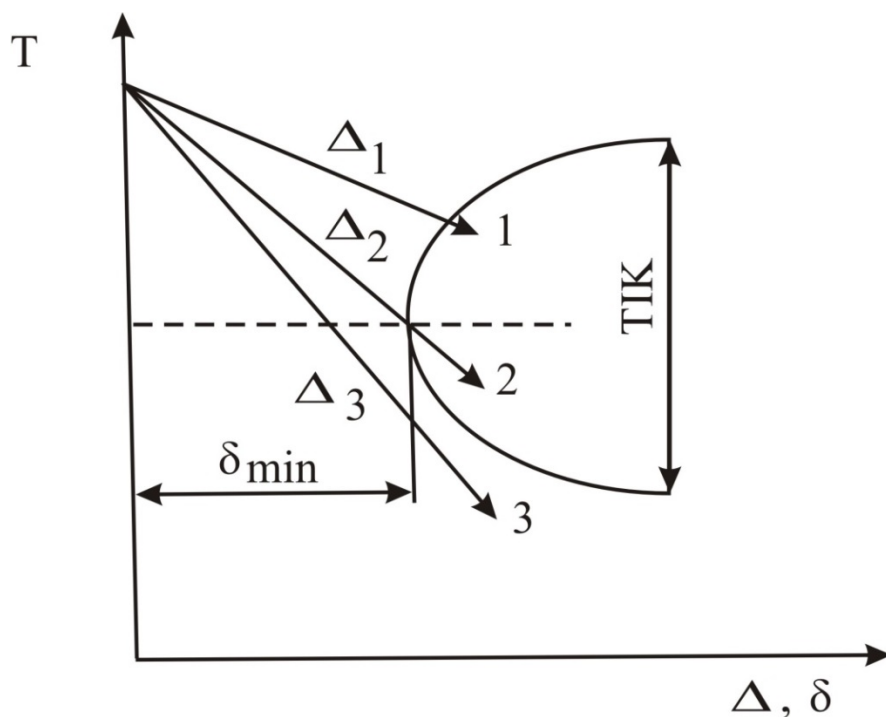


Рисунок 2.2 – Залежність пластичності металу δ і його деформації Δ від температури

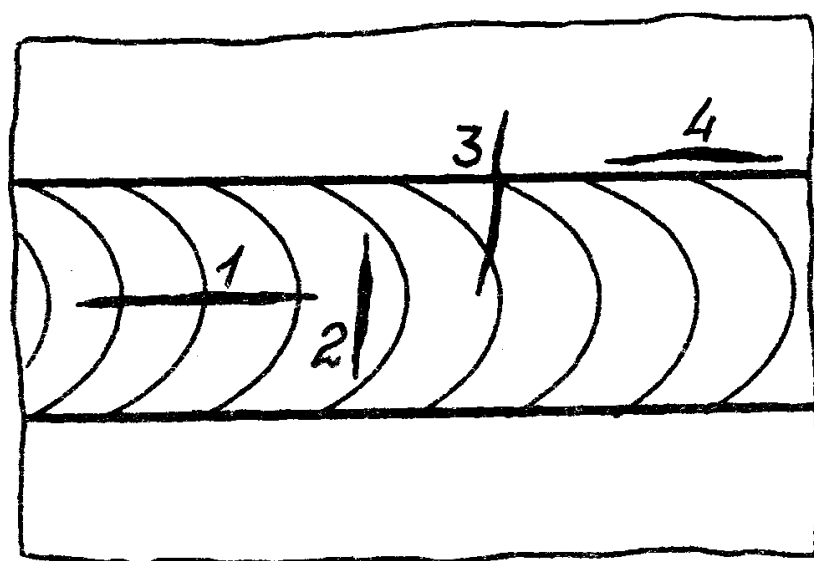


Рисунок 2.3 – Характерні місця виникнення і розвитку гарячих тріщин: у металі шва (1,2); зоні сплавляння і ЗТВ (3,4)

У більшості випадків гарячі тріщини розвиваються в площині, перпендикулярні лінії сплавляння є неперервними, також гарячі тріщини можуть зароджуватися і розвиватися в площині рівнодійній лінії сплавляння. У даному випадку ЗТВ знаходиться не у вихідному металі, а у раніше наплавленому.

Тріщини в даному випадку можуть мати переривчастий (не безперервний) характер і розвиватися по однотипних межах, які знаходяться під впливом розтягу.

Кристалізаційні гарячі тріщини при зварюванні утворюються в сплавах з відносно широким інтервалом кристалізації, у яких лінійна усадка до кінця процесу затвердіння досягає великого розміру. Важливу роль у руйнуванні відіграють тверді стики зерен, що виникають при кристалізації або в результаті розвороту і заклинюванні кристалів, що ростуть.

Існуюча класифікація холодних тріщин пов'язана з їхнім розташуванням у зварному з'єднанні. Утворення холодних тріщин можливе у всіх зонах зварного з'єднання: у шві, у ЗТВ і зоні сплавляння.

Тріщини орієнтовані приблизно паралельно або перпендикулярно осі шва, що пов'язано з напрямком головних компонентів зварювальних напружень.

Розрізняють такі види холодних тріщин: повздовжні в ЗТВ - відкол, кореневі тріщини, тріщини від концентратора, підваликові, шаруваті розтріскування, або ламелярні; - поперечні в ЗТВ; - повздовжні в зоні сплавляння - відрив або відшарування; - повздовжні у шві - поверхневі, кореневі і внутрішні в багатошаровому шві; - поперечні у шві з подібним розташуванням, як і повздовжніх по перерізу шва.

Поділ холодних тріщин деякою мірою носить формальний характер і не відбиває внутрішніх процесів у металі, розвиток яких призводить до їхнього утворення.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

Холодні тріщини типу відкол (повздовжні в ЗТВ) утворюються через деякий проміжок часу після зварювання, що дозволяє вважати їх окремим випадком стримуваного руйнування загартованої сталі.

Стримування руйнування легованих свіжозагартованих сталей і утворення тріщин - відколів при зварюванні викликано зниженим опором меж зерен зсуву в порівнянні з тілом зерна і зниженою здатністю зерен до пружно-в'язкої течії по межах.

Руйнування виникає як результат блокування смуг ковзання (дислокацій). Відповідно до дислокаційної моделі в місці зупинки смуги ковзання утворюється скупчення дислокацій, а біля його вершини виникає розтягуючі напруження. При певних силових і енергетичних умовах відбувається пружне розривання зв'язків у металі біля скупчення дислокацій, яке потім розвивається в субмікротріщину. При цьому ріст може прискорюватися за рахунок поглинання дислокацій, які знову надходять до цієї зони. Субмікротріщини за своєю природою аналогічні дислокаціям і тому взаємоперетворювані. Після зняття навантаження вони можуть зникнути в результаті перерозподілу дефектів структури. Стійкість субмікротріщин залежить від структури металу і напруженого стану. При тривалій дії навантаження або його зростанні субмікротріщини розвиваються за механізмом пружного розривання атомних зв'язків до мікротріщин. Останні при відповідних умовах, коли їхні розміри стають більшими за критичні, розвиваються в макроруйнування.

Основні закономірності стримуваного руйнування загартованих сталей при зварюванні і термообробці:

1) руйнування завжди є макроскопічно крихким і проходить по межах аустенітних зерен; при цьому підвищення температури нагрівання (у ділянці перегріву ЗТВ), супроводжуване ростом зерна, збільшує схильність до стримуваного руйнування; дане положення підтверджується будовою зламу в осередку тріщин-відколів;

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

2) із збільшенням періоду часу від зварювання або загартування до прикладання навантаження схильність до стримуваного руйнування зменшується (явище "відпочинку"); у тому ж напрямку діє відпуск безпосередньо після зварювання або загартування, причому відпуск при відносно високих температурах (300 °С і вище) може цілком усунути схильність до довготривалого руйнування;

3) сегрегація домішок по межах зерен підвищує схильність до довготривалого руйнування сталей при зварюванні і загартуванні; на поверхні зламу холодних тріщин у ЗТВ і наплавленому металі практично завжди присутні мікроскопічні частки домішок і виділень;

4) процес довготривалого руйнування складається з декількох стадій: інкубаційної, утворення осередку руйнування (утворення і розвиток субмікротріщин) і розвитку мікротріщин у макротріщини; експериментально можна фіксувати тільки момент утворення осередків руйнування.

2.2 Оцінка схильності сталей до утворення тріщин при зварюванні

Існують як розрахункові, так і технологічні методи оцінки схильності сталей до утворення тріщин при зварюванні.

Розглянемо дані методи згідно літературного джерела [4].

На підставі поданих у літературних джерелах особливостей розвитку фізичних процесів при зварюванні сталей, а також виявлених закономірностей зародження і розвитку технологічних дефектів типу тріщин, можна зробити висновок, що домінуючим механізмом руйнування дефектних зварних з'єднань є міжзеренний відкол.

Це обумовлено особливою структурою границь зерен, значним ростом розмірів зерна литого металу шва і вихідного в навколошовній зоні, розвитком ліквідаційних процесів, присутністю на межах зерен підвищених концентрацій розчинених домішок або виділень окрихковувачих фаз, розвитком міжкристалітної внутрішньої адсорбції.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		19

До цього часу розробка способів підвищення опіру міжкристалітному руйнуванню матеріалів, а також їхніх зварних з'єднань базувалася на результатах технологічних проб або машинних випробувань примусовим деформуванням.

Ці випробування, проте, відбивають сумарний вплив багатьох факторів і не дають відповіді на питання про те, що є головною причиною руйнування - вичерпання пластичних властивостей самого матеріалу, недосконалість його структури або несприятливий напружений стан при зварюванні чи наступні навантаження.

Водночас на сучасному етапі розвитку зварювальних процесів дуже актуальна розробка і розрахункових методів як оцінки можливості виникнення дефектів для заданих умов зварювання.

У цьому випадку теоретичною базою таких розрахунків є механіка руйнування [5, 6].

Згідно до уявлень механіки руйнування [5], тріщина в металі розвивається у тому випадку, якщо робота зовнішніх сил при її поширенні забезпечує енергію утворення нової поверхні поділу й енергію локалізованої пластичної деформації у вершині тріщини. Кількісними критеріями тріщиностійкості є коефіцієнт інтенсивної напружень K - відносне локальне підвищення розтягуючого напруження у головного краю тріщини і інтенсивність звільнення пружної енергії (в'язкість руйнування) G - енергія, яка витрачається при збільшенні тріщини на одиницю довжини. Коефіцієнт K в момент нестабільного зростання тріщини позначають K_c . В момент руху тріщини в залежності від виду деформації використовуються константи K_{Ic} (при відриві), K_{IIc} (при поперечному зсуві), K_{IIIc} (при повздовжньому зсуві).

Відповідні їм значення G позначаються G_{Ic} (при відриві), G_{IIc} (при поперечному зсуві), G_{IIIc} (при повздовжньому зсуві).

В загальному випадку коефіцієнт інтенсивності напружень за наступною формулою:

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

$$K_{Ic} = \sigma \cdot \sqrt{a \cdot \pi \cdot l}, \quad (2.1)$$

де σ - номінальне руйнуюче напруження (для зварних з'єднань воно складається з величин зовнішнього прикладеного навантаження і залишкових зварювальних напружень),

a - коефіцієнт, залежний від форми тіла і геометрії тріщини,

l - половина довжини тріщини.

Параметри K_{Ic} та G_{Ic} взаємопов'язані за допомогою співвідношення:

- в умовах плоскої деформації:

$$G_{Ic} = \frac{K_{Ic}^2 (1 - \nu^2)}{E}, \quad (2.2)$$

де ν - коефіцієнт Пуасона,

E - модуль пружності.

- в умовах плоского напруженого стану:

$$G_c = \frac{K_c^2}{E}, \quad (2.3)$$

Використовуючи закони механіки руйнування, умову забезпечення рівноваги тріщини (відсутність спонтанного їх росту) або умову придатності зварних з'єднань із тріщиноподібними дефектами можна сформулювати наступним чином [6]:

$$K + K_r < \frac{K_c}{n_k}, \quad (2.4)$$

де K - розрахунковий коефіцієнт інтенсивності напружень біля основи тріщини при дії навантаження, яке розглядається;

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

K_r - розрахунковий коефіцієнт інтенсивності напружень від дії залишкових напружень;

K_c - критичне значення параметру K для заданого матеріалу біля основи тріщини (визначається експериментально або за довідковими таблицями);

n_k - коефіцієнт запасу.

Не практиці важливого значення поряд з оцінкою за умовою (2.4) набуває визначення критичного (максимально допустимого) розміру тріщиноподібного дефекту. Цей розмір можна визначити з умови (2.1). Всі тріщиноподібні дефекти у зварних з'єднаннях незалежно від природи їх утворення (гарячі тріщини, холодні тріщини, непровари, підрізи і т.п.) можна умовно розділити на три види: напівеліптична тріщина в поверхні з'єднання, еліптична тріщина усередині об'єму металу і наскрізна тріщина в пластині заданої товщини. Тоді критичні розміри тріщин визначаються за формулами:

$$l_{кр} = \frac{K_{Ic}^2}{1.21 \cdot \pi \cdot \sigma} \left[\Phi - 0.212 \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^2 \right], \quad (2.5)$$

де σ_T - межа текучості,

Φ - повний еліптичний інтеграл, що залежить від співвідношення глибини тріщини до її довжини;

еліптична тріщина:

$$l_{кр} = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \cdot \sigma} \left[\Phi - 0.212 \left(\frac{\sigma}{\sigma_T} \right)^2 \right], \quad (2.6)$$

наскрізна тріщина:

$$l_{кр} = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \cdot \sigma} - \frac{K_{Ic}^2}{2\pi \cdot \sigma_T}. \quad (2.7)$$

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

За допомогою величини K_c (K_{Ic}), визначеної при різних температурах, виявляють також поріг холодноламкості зварного з'єднання, який звичайно нижчий від порога холодноламкості, одержуваного при стандартних випробуваннях зразків на ударний вигин (за розміром ударної в'язкості KCV або KCU, роботою поширення тріщини K_{Cp} або часткою в'язкої складової у зламі. Для безпечної роботи зварної конструкції в умовах низьких температур необхідно і достатньо, щоб службова температура була вища від температури холодноламкості і щоб у заданих умовах навантаження зберігалось велике значення K_c , тому що чим вище K_c , тим більш високою нездатністю характеризується конструкція.

Розглянемо експериментальні способи оцінки схильності сталей до утворення тріщин.

Згідно [4, 6], є схильність зварювальних матеріалів до утворення тріщин визначають за допомогою спеціальних випробувань. В даний час існує цілий ряд методів таких випробувань для різних типів зварних з'єднань (кутових, стикових і т.д.), таким чином, для конкретного технологічного процесу можна вибрати оптимальний метод випробувань.

У принципі всі технологічні проби є, перш за все, випробуваннями на схильність матеріалу до утворення гарячих тріщин, тому що при зварюванні метал проходить температурну область їх можливого виникнення. Однак на практиці застосовуються випробування за спеціальними методами, виключно призначеними для оцінки схильності до гарячих тріщин. У них використовується підвищений ступінь або швидкість деформації, як правило при високих температурах.

Ці методи можна розділити на наступні групи:

випробування на жорстких пробах (зразках з природною жорсткістю);
випробування з примусовою жорсткістю (з зовнішнім навантаженням).

Залежно від способу нагріву і циклу зварювання розрізняють: випробування з реальним циклом зварювання; випробування з імітованим циклом зварювання.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

Можна також класифікувати випробування в залежності від зварюваного матеріалу, тобто низьковуглецевих, конструкційних, високоміцних або аустенітних сталей.

При випробуваннях за допомогою проб на метал зварного шва впливають деформації від усадки шва і формозміни зварюваних зразків відповідно до ГОСТ 26389-84 (2000).

2.3 Висновки

1. Розглянуті види тріщин, які виникають при зварюванні.
2. Проаналізовані основні закономірності стримуваного руйнування загартованих сталей при зварюванні і термообробці.
3. Подані як розрахункові, так і технологічні методи оцінки схильності сталей до утворення тріщин при зварюванні.
4. Показано, що питання встановлення оптимальних параметрів структури, при яких зменшується схильність сталей до утворення тріщин при зварювання є відкритими.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

З ТЕХНОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Вплив умов експлуатації на довговічність виробів

Згідно [7], до умов експлуатації зазвичай відносять навантаження, температуру, середовище, з яким стикається зварне з'єднання, радіацію (даний фактор у роботі розглядатись не буде) та час, протягом якого відбувається дія перелічених факторів.

Умови експлуатації впливають головним чином вибір матеріалу, типів зварних з'єднань, способів зварювання і післязварювальної обробки зварних конструкцій.

Вплив навантажень дуже різноманітний. Навантаження розрізняють за швидкістю їх застосування та за тривалістю дії. Для статичного навантаження характерно відносно повільне її застосування. Багаторазові статичні навантаження, що йдуть з частотою не більше одного навантаження в секунду, умовно відносять до повторно-статичних. Найчастіші навантаження, природно, здійснюються з більш високою швидкістю та меншою тривалістю дії в одному циклі. Навантаження можуть бути створені як зовнішніми впливами, наприклад, силами, так і власними деформаціями, наприклад, при нерівномірних нагріваннях і структурних перетвореннях. Зовнішні дії, як правило, характеризують значеннями сил та значно рідше рівнем переміщень.

Навантаження у поєднанні з формою зварних з'єднань та елементів Конструкцій утворюють складні розподіли напруг, від яких у більшості випадків залежать міцність та працездатність зварних з'єднань.

На перше місце за силою впливу слід поставити циклічний характер навантажень, особливо при великому числі циклів.

Ударний характер докладання навантажень також відносять до найважчих режимів роботи зварних конструкцій. Багато стали чутливі до

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		25

збільшення швидкості застосування навантажень в області помірно низьких або навіть позитивних температур, особливо за наявності концентраторів напруг. Це визначає необхідність вибору металу з урахуванням термічної обробки до і після зварювання, досить плавних форм зварних з'єднань, підвищених норм контролю зварних з'єднань та самого металу.

Своєрідними є умови експлуатації, коли зварна конструкція має велику накопичену енергію через те, що під навантаженням знаходяться значні ділянки металу з високим рівнем діючих напруг. Це насамперед газопроводи великого діаметру, великі судини зі стислим газом, судини з високоміцних сталей, у яких накопичена енергія пружних деформацій дуже значна, і навіть інші зварні конструкції, руйнація яких супроводжується значним визволенням енергії.

Великі стискаючі навантаження вимагають таких форм зварювальних конструкцій, які забезпечують стійкість. Тип зварних з'єднань у разі особливої ролі не грає. На перший план виступають товщина металу, що застосовується, і форми конструктивних елементів, які повинні забезпечити по можливості більш високу робочу напругу, близьку до межі пластичності металу. Подібні ситуації виникають за умови забезпечення вимоги жорсткості.

Необхідність урахування температурного фактора істотно залежить від металу. Типовими щодо цього є чорні метали. При тривалій дії температури та навантаження проявляється повзучість металу, і міцність визначається межею тривалої міцності.

Область низьких температур диктує свої вимоги щодо вибору металу через можливість негативного прояву низькотемпературної крихкості. В області низьких кліматичних температур $-40...-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ вдається забезпечити досить хорошу працездатність зварних конструкцій на основі застосування сталей з легуванням, але, як правило, термічно оброблених.

Для діапазону помірно низьких температур ($-0...-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) при відповідних видах з'єднань і конструктивних формах можливе застосування дешевих

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		26

конструкційних матеріалів. При криогенних температурах, як правило, необхідно використовувати спеціальні сталі та кольорові сплави, а також відповідні способи зварювання.

В області високих температур експлуатації вибір відповідного жароміцного матеріалу є вирішальним для забезпечення необхідної працездатності зварної конструкції. У міру переходу до вищих температур застосовують не тільки сталі на залізній основі, а й спеціальні сплави на основі інших металів. Це спричиняє використання спеціальних способів зварювання та спеціальних зварювальних матеріалів, а також подальшої термічної обробки.

До окремого виду навантаження відносять тривалі навантаження в умовах високих температур. Основним тут є вибір металу, що має тривалу жароміцність, і способу зварювання, що забезпечує отримання зварних з'єднань, що не поступаються за властивостями основному металу.

Тривалий вплив температури або її зміна у часі за певним законом, у тому числі і без навантажень, у ряді випадків може спричинити суттєві зміни міцності та пластичності під впливом зміни структурного стану.

Супутня експлуатація дія температури може викликати дуже несприятливі аномальні погіршення властивостей металу внаслідок протікання таких процесів, як деформаційне старіння металу, теплове окрихчення, відпускна крихкість, уповільнене руйнування та інші.

Вплив фактора середовища також дуже різноманітний. Воно може мати негативні наслідки навіть за відсутності навантажень, викликаючи, наприклад, корозію металу. У поєднанні з навантаженнями можливі корозійне розтріскування та втома.

Значний вплив на вибір металу має характер агресивного середовища. Для ряду середовищ вибір відповідного їм металу є обов'язковою умовою для створення працездатної конструкції. Нерідко потрібна термообробка після зварювання.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		27

3.2 Технології гальмування росту тріщин при зварюванні

У сучасних умовах розвитку виробництва актуальною задачею є освоєння нових технологій зміцнення деталей, що мають мати високі параметри надійності.

Згідно [4], основним завданням при поверхневому зміцненні є формування у поверхні структур, які мають підвищений опір до руйнування.

Зокрема, нанесення шару легованого твердого металу при наплавленні або утворення загартованого шару при поверхневій обробці дозволяють значно збільшити зносостійкість.

Для підвищення тріщиностійкості перспективним вбачається розробка нових матеріалів (чи технологій модифікування старих), що мають більш високі експлуатаційні параметри.

Наприклад, перспективним є використання структурної та механічної неоднорідності шару (шарів), що наплавляються (зварюються), або технології поверхневої термічної обробки, що дозволяє одержати шаруватий композиційний матеріал, у якому поверхневий зносостійкий, але крихкий шар контактує з більш пластичним внутрішнім шаром.

Отримання композиційних матеріалів методами електродугового наплавлення можливо завдяки досить різкому переходу між наплавленим шаром і основним металом або окремими шарами, особливо при наплавленні стрічковим електродом.

При плазмовому поверхневому гартуванні зона плазмового впливу складається з власне загартованого шару, і перехідного шару, в якому сталося неповне загартування.

Слід зазначити, що плазмове гартування може бути ефективно використане і для зміцнення шаруватого наплавленого металу, що дозволяє додатково підвищити зносостійкість при збереженні високої в'язкості руйнування.

Теоретичне обґрунтування необхідних розмірів шарів і їх власних

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

(локальних) властивостей може бути виконано на основі положень механіки руйнування структурно-неоднорідних матеріалів [6].

Експериментальне визначення інтегральних критеріїв тріщиностійкості можливе при проведенні динамічних, статичних або циклічних випробувань зразків спеціальної конструкції, а локальних критеріїв - при мікроекспериментах за спеціальними методиками [6].

Важлива для практичних цілей інформація може бути отримана також при фрактографічному аналізі зламів шаруватих матеріалів. При цьому вивчаються як механізми розвитку тріщин в матеріалах окремих шарів, так і механізми гальмування руйнування на межах шарів, що дуже важко проаналізувати за допомогою кількісних критеріїв при визначенні інтегральних або локальних властивостей.

Фрактографічні дослідження зламів зміцнених і шаруватих зразків, досліджених на динамічну тріщиностійкість, дозволили встановити, що залежно від співвідношення локальних механічних властивостей суміжних ділянок в композиційних матеріалах, а також від міцності їх адгезійного зв'язку можливі два механізми гальмування тріщини при переході з крихкого у пластичний метал [4]. В наплавлених шарах магістральна тріщина зупиняється з утворенням розшарування на межі сплавлення (рис. 3.1).

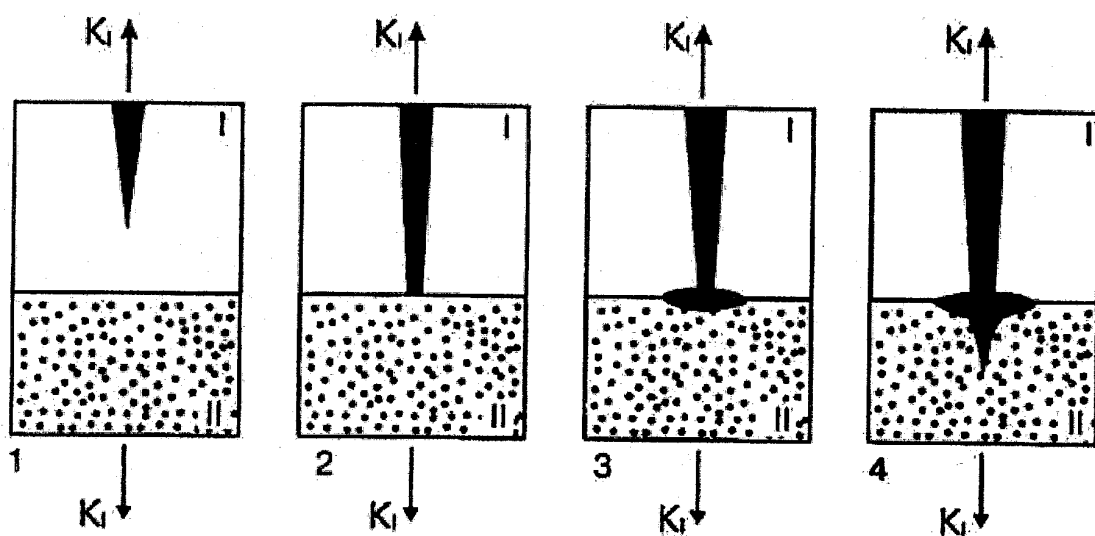


Рисунок 3.1 – Схема гальмування магістральної тріщини на межі між шарами I і II по механізму Кука — Гордона (1-4 — стадії руйнування)

Це пов'язано з тим, що адгезійна міцність по лінії сплавлення нижче міцності будь-якого із сусідніх шарів. Розшарування представляє з себе тріщину, що перпендикулярна площині зламу (т.зв. вторинна тріщина). Розміри цих тріщин достатньо великі, і можливо спостерігати навіть при невеликому збільшенні. Такий механізм гальмування магістральної тріщини відомий в механіці руйнування композиційних матеріалів як механізм Кука-Гордона (рис. 3.1) [4, 8]. Слід зазначити, що гальмування тріщини може бути не тільки при переході з крихкого у в'язкий шар, але й із в'язкого у крихкий. Це ще раз підкреслює особливу роль межі між шарами у гальмуванні тріщин за цим механізмом.

Гальмування руйнування з утворенням тріщин ковзання встановлено не тільки для наплавлених композицій, але і для напилених або осаджених покриттів.

Принципово інший механізм гальмування магістральної тріщини реалізується при руйнуванні сталей з поверхневим загартованим шаром після плазмового зміцнення. Коли лінії з'єднання шарів як такої немає і суміжні шари являють собою один і той самий метал, але в різному структурному стані, розшарування на межі не відбувається і тріщина в цьому місці тільки змінює свій напрямок - викривляється.

При динамічному навантаженні поверхневозагартованої сталі магістральна тріщина зароджується на поверхні від надрізу або іншого концентратора напруження. Пройшовши через крихкий загартований шар, вона зупиняється на межі з більш пластичним металом - у перехідній зоні, у вихідній нормалізованій або відпаленій сталі (при плазмовому зміцненні після нормалізації або відпалу) або в зоні відпускання (при плазмовому зміцненні після об'ємного гартування). У момент зупинки і на початку подальшого просування тріщини відбувається розгалуження її траєкторії - на зламах поверхневозагартованих сталей і наплавленого металу в цьому місці утворюються характерні сходинок, які на зламах зміцнених зразків, як і тріщини ковзання в наплавлених композиціях, можна спостерігати навіть при

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		

невеликому збільшенні.

Розгалуження траєкторії тріщини також відбувається і при переході з крихкого у більш пластичний метал і при переході з пластичного в крихкий. Встановлено, що поряд з анізотропією в'язкості руйнування реалізації такого механізму гальмування тріщини сприяє і характер розподілу залишкових макронапружень при поверхневій обробці.

Також цікавим є підходи щодо умови гальмування тріщини за механізмом розгалуження траєкторії узгоджуються з даними роботи [4, 7, 8], де показано, що закритичне зростання тріщини (після досягнення першого піку навантаження) за відсутності катастрофічного руйнування може призводити до зупинки нестабільної тріщини за умови наявності сприятливих неоднорідних полів залишкових напружень на шляху поширення тріщини.

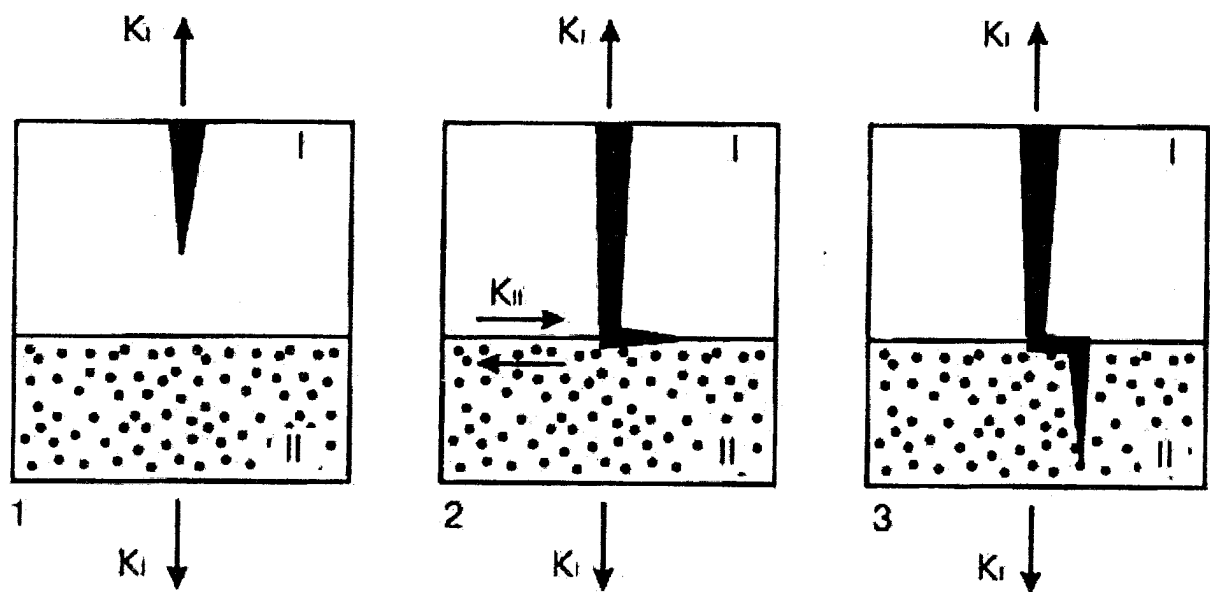


Рисунок 3.2 – Схема гальмування тріщини в поверхневозміцнених матеріалах по механізму розгалуження траєкторії (1—3 — стадії руйнування)

Анізотропія механічних властивостей теж може призводити до розгалуження траєкторії тріщини як на макорівні - при переході з загартованого шару у вихідний метал, так і на мікрорівні – так званому

розсіювання енергії руйнування.

Гальмування тріщини на межі зміцненого шару, незважаючи на велику кількість прикладів його реалізації, не можна вважати обов'язковим і універсальним.

Ступінь впливу гальмування тріщини на працездатність зварених, наплавлених або поверхневозміцнених виробів більш точно, ніж інтегральними характеристиками (K_C , K_{IC}), можна оцінити спеціальними критеріями: в'язкістю ковзання K_{IC} , що визначається розрахунковим шляхом, або коефіцієнтом інтенсивності напружень у момент зупинки тріщини, який визначається експериментально за діаграмами руйнування.

Відмітимо, що на думку автора, найкращим способом гальмування тріщин є комбінація вище наведених технологій за допомогою методів інженерії поверхні.

3.3 Висновки

1. Проаналізований вплив умов експлуатації на довговічність виробів, що отримані зварюванням.
2. Показані технології гальмування тріщин, які утворились при зварюванні.
3. Запропоновано методики гальмування тріщин методами інженерії поверхні, які суттєво дозволять підвищити надійність деталей залізничного транспорту.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті основні етапи процесу ремонту тягового рухомого складу. Показано, що однією із складових даного процесу є процес зварювання деталей. Наведені основні методи зварювання тягового рухомого складу згідно нормативних документів УЗ. Показані методи зменшення напружень у деталях, що зварюються, та контролю процесу зварювання, разом із тим методи оптимізації структурного стану зони зварного з'єднання не наведені.

2. Розглянуті види тріщин, які виникають при зварюванні. Проаналізовані основні закономірності стримуваного руйнування загартованих сталей при зварюванні і термообробці. Подані як розрахункові, так і технологічні методи оцінки схильності сталей до утворення тріщин при зварюванні. Показано, що питання встановлення оптимальних параметрів структури, при яких зменшується схильність сталей до утворення тріщин при зварювання є відкритими.

3. Проаналізований вплив умов експлуатації на довговічність виробів, що отримані зварюванням. Показані технології гальмування тріщин, які утворились при зварюванні. Запропоновано методики гальмування тріщин методами інженерії поверхні, які суттєво дозволять підвищити надійність деталей залізничного транспорту.

					6.273.190544.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документів	Підпис	Дата		33

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизельпоїздів). – Київ, 2015. – 27 с.
2. Основи технології ремонту локомотивів: Конспект лекцій/ Ю.М. Дацун, О.В. Клименко, М.В. Максимов, В.М. Данько. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Ч. 1. – 69 с.
3. Інструкція ЦТ-0227 «Тяговий рухомий склад. Зварювання, наплавлення та напилення. Правила ремонту». – Київ, 2014. – 420 с.
4. Дефекти та якість при зварюванні і споріднених процесах [Текст] : підруч. для студ. зварюв. та машинобуд. напрямків вищ. навч. закл. / В. О. Роянов, В. Я. Зусін, С. С. Самотугін ; Приазов. держ. техн. ун-т. - Маріуполь : Рената, 2010. - 226 с.
5. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1988. – 364 с.
6. Махненко В.И., Починок В.Е. Применение критериев механики разрушения к расчету на прочность сварных соединений с предусмотренными несплошностями трещинообразного типа// Автоматическая сварка. – 1982. - № 1. – с. 1-6.
7. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / под ред. Б. Е. Патона - М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
8. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. – М.: Наука. 1983. – 296 с.