

З АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

05
2020

Автоматическая сварка

Automatic Welding

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Published 12 times per year since 1948

ЗМІСТ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

Берднікова О.М., Костін В.А., Позняков В.Д., Гайворонський О.А., Алексеєнко Т.О., Алексеєнко І.І. Структура та тріщиностійкість спеціальних сталей з вмістом вуглецю 0,25...0,31 % в умовах імітації термічних циклів зварювання..... 3

Скрябінський В.В., Нестеренков В.М., Русиник М.О., Страшко В.Р. Вплив режиму електронно-променевого зварювання, термічної обробки і пластичної деформації на міцність з'єднань алюмінієвого сплаву 1570 10

Бабінець А.А., Рябцев І.О., Лентюгов І.П., Рябцев І.І., Демченко Ю.В., Панфілов А.І. Проблеми та перспективи наплавлення зносостійких шарів на мідь та мідні деталі (Огляд)..... 16

Щетинін С.В., Щетиніна В.І., Десятський С.П. Підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії..... 25

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Нестеренков В.М., Русиник М.О., Берднікова О.М., Матвійчук В.А., Страшко В.Р. Мікроструктура зразків титанового сплаву марки Ti6Al4V, отриманих методом шарового електронно-променевого наплавлення дротом 31

Лобанов Л.М., Махлін Н.М., Попов В.Є., Оліяненко Д.С., Ковалюк О.В. Автоматичне дугове зварювання при виготовленні та відновлювальному ремонті трубних елементів спіралей ПВТ енергоблоків АЕС 37

Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Письменний О.С., Римар С.В., Пантелеймонов Є.О. Розробка індукторів для об'ємної та поверхневої термічної обробки зварних стиків залізничних рейок 45

Масючок О.П., Юрженко М.В., Колісник Р.В., Кораб М.Г. Адитивні технології полімерних матеріалів (Огляд).... 53

ІНФОРМАЦІЯ

Установки ЕПЗ для гранульної металургії 61

Дуплексні нержавіючі сталі 62

По закордонним журналам 65

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Berdnikova O.M., Kostin V.A., Pozdnyakov V.D., Gaivoronskii O.A., Alekseenko T.O., Alekseenko I.I. Structure and crack resistance of special steels with 0.25...0.31 % carbon under the conditions of simulation of thermal cycles of welding 3

Skryabinsky V.V., Nesterenkov V.M., Rusynuk M.O., Strashko V.R. Effect of mode of electron beam welding, heat treatment and plastic deformation on strength of joints of aluminum 1570 alloy 10

Babinets A.A., Ryabtsev I.O., Lentuyugov I.P., Ryabtsev I.I., Demchenko Yu.V., Panfilov A.I. Problems and prospects of surfacing copper and copper parts by wear-resistant layers (Review) 16

Shchetinin S.V., Shchetinina V.I., Desyatskii S.P. Improvement of crack resistance of banded support rolls at high-speed surfacing with low energy input 25

INDUSTRIAL

Nesterenkov V.M., Rusynuk M.O., Berdnikova O.M., Matviychuk V.A., Strashko V.R. Microstructure of titanium alloys produced by the method of layered electron beam surfacing using the wire of grade Ti6Al4V 31

Lobanov L.M., Makhlin N.M., Popov V.Ye., Oliyanenko D.S., Kovalyuk O.V. Automatic arc welding in manufacture and renovation repair of pipe elements of spirals of high-pressure heaters of NPP power units 37

Prokof'ev O.S., Gubatyuk R.S., Pysmenii O.S., Rymar S.V., Panteleimonov Ye.O. Development of inductors for bulk and surface heat treatment of welded butt joints of railway rails 45

Masyuchok O.P., Yurzhenko M.V., Kolisnyk R.V., Korab M.G. Additive technologies of polymeric materials (Review) 53

INFORMATION

EBW equipment for granular metallurgy 61

Duplex stainless steels 62

According to foreign welding journals 65



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ представляє Україну в Міжнародному інституті зварювання та в Європейській зварювальній федерації

The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU represents Ukraine in International Institute of Welding and in European Federation for Welding



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України
Міжнародний науково-технічний та виробничий журнал
E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
International Scientific-Technical and Production Journal

Автоматичне зварювання Автоматическая сварка Automatic Welding

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ:
Б.Є. Патон (головний редактор),
С.І. Кучук-Яценко (заст. гол. ред.),
В.М. Ліподаєв (штатний заст. гол. ред.)
О.М. Берднікова, Ю.С. Борисов,
В.В. Книш, В.М. Коржик, І.В. Кривцун,
Ю.М. Ланкін, Л.М. Лобанов,
С.Ю. Максимов, М.О. Пашин,
В.Д. Позняков, І.О. Рябцев,
К.А. Ющенко;
В.В. Дмитрик, НТУ «ХПІ», Харків;
В.В. Квасницький, Є.П. Чвертко,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ;
М.М. Студент, Фізико-механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів;
М. Зініград, Аріельський університет, Ізраїль;
У. Райсген, Інститут зварювання та з'єднань,
Аахен, Німеччина;
Я. Пілярчик, Інститут зварювання, Глівіце, Польща

Засновники

Національна академія наук України,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ,
Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

Адреса

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
03150, Україна, Київ-150,
вул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277
Факс: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/ukr/journal/as

Журнал входить до переліку затверджених
Міністерством освіти і науки України видань
для публікації праць здобувачів наукових ступенів за
спеціальностями 131, 132, 151
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

Рекомендовано до друку
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001

ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Передплата

Передплатний індекс 70031.
12 випусків на рік (видається щомісячно).
Друкована версія: 2400 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою банделлюю.
Електронна версія: 2400 грн. за річний комплект
(випуски журналу надсилаються електронною поштою
у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера
передплатника надається доступ до архіву журналу).

Журнал «Автоматичне зварювання» перевидається
англійською мовою під назвою
«The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

За зміст рекламних матеріалів
редакція журналу відповідальності не несе.

EDITORIAL BOARD

Scientists of E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU:
B.E. Paton (Editor-in-Chief),
S.I. Kuchuk-Yatsenko (Deputy Editor-in-Chief),
V.M. Lipodaev (Staff Deputy Editor-in-Chief)
O.M. Berdnikova, Yu.S. Borisov,
V.V. Knysh, V.M. Korzhyk, I.V. Krivtsun,
Yu.M. Lankin, L.M. Lobanov,
S.Yu. Maksimov, M.O. Pashchin,
V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,
K.A. Yushchenko;
V.V. Dmytryk, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;
V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko, NTUU «Igor Sykorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;
M.M. Student, Karpenko Physico-Mechanical Institute
of NASU, Lviv;
M. Zinigrad, Ariel University, Israel;
U. Reisgen, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany;
Ja. Pilarczyk, Welding Institute, Gliwice, Poland

Founders

National Academy of Sciences of Ukraine,
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU,
International Association «Welding» (Publisher)

Address

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU
03150, Ukraine, Kyiv-150,
11 Kasymyr Malevych Str.
Tel.: (38044) 200 6302, 200 8277
Fax: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as

The Journal is included in the list of publications approved
by the Ministry of Education and Science of Ukraine
for the publication of works of applicants for academic degrees
in specialties 131, 132, 151.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Recommended for printing editorial board of the Journal

Certificate of state registration
of KV 4788 dated 09.01.2001
ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Subscription

Subscription index 70031.
12 issues per year (issued monthly), back issues available.
\$180, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.
\$150, subscriptions for the electronic version
(sending issues of Journal in pdf format
or providing access to IP addresses).
«Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding)
journal is republished in English under
the title «The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

The editorial board is not responsible
for the content of the promotional material.

Підписано до друку 12.05.2020.
Формат 60×84/8. Офсетний друк. Ум. друк. арк. 7,91.
Друк ТОВ «ДА».
03022, м. Київ-22, вул. Васильківська, 45.

Розроблено в ІЕЗ

УСТАНОВКИ ЕПЗ ДЛЯ ГРАНУЛЬНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Установки для гранульної металургії призначені для дегазації, наповнення та вібраційного ущільнення гранул в капсулах з подальшою герметизацією за допомогою електронно-променевого зварювання.

В установках виконуються наступні технологічні операції:

- нагрів та дегазація виробів (капсул) для видалення з внутрішньої та зовнішньої поверхонь адсорбованої вологи та газів;
- дегазація гранул при заповненні виробу;
- віброущільнення гранул у виробі в процесі заповнення;
- електронно-променеве зварювання пробки, яка встановлюється у горловину виробу;

– охолодження заповненого і герметизованого виробу у вакуумі.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона випускає три типорозміру установок для гранульної металургії: KL168, KL114 та KL139.



Основні характеристики установки KL139

	Найменування параметру	Величина
1.	Габаритні розміри установки, мм: довжина ширина висота	7980 4470 3140
2.	Маса установки, т	10
3.	Внутрішні розміри вакуумної камери, мм: довжина ширина висота	1500 1300 1854
4.	Максимальні габарити виробу, що зварюється, мм типу циліндру діаметр висота типу диск (у вертикальному положенні) діаметр ширина	600 650 800 400
5.	Маса виробу, що зварюється, кг, макс	1000
6.	Глибина зварного шва, мм, не менше	6
7.	Робочий вакуум у вакуумній камері, Па, не гірше	$2,66 \cdot 10^{-3}$
8.	Робочий вакуум в гарматі, Па, не гірше	$6,67 \cdot 10^{-3}$
9.	Натікання в порожню і чисту камеру, Па·л/с (мм рт.ст.·л/с), не більше	5 (0,0375)
10.	Час відкачування вакуумної камери (до $2,66 \cdot 10^{-3}$ Па), хв., не більше	30
11.	Температура нагріву виробу, °С, макс	600
12.	Амплітуда вібрації виробу, мм, макс	2
13.	Діапазон частоти вібрації виробу, Гц	5...30
14.	Енергетичний блок з джерелом високовольтного живлення 6 кВт / 60 кВ: прискорююча напруга, кВ діапазон регулювання зварювального струму, мА	60 1...100
15.	Цикл підготовки, нагріву, заповнення та зварювання одного виробу, робочих змін	1 ... 2
16.	Технічні параметри, які забезпечує Замовник: - силове електроживлення – відповідно до стандарту Німеччини DIN EN 60 204, п.4.3. - споживана потужність, кВ·А, не більше - витрата охолоджуючої води, л/год - температура охолоджуючої води на вході, °С - тиск води, що охолоджує, кг/см ² , не менше - тиск стисненого повітря, кг/см ² , не менше - температура в приміщенні, °С, не більше - вологість,%, не більше - наявність кондиціонера - наявність крана вантажопідйомністю не менше 1,5 т	380 В, 50/60 Гц 120 5340 15...20 3 5 30 70 + +

ДУПЛЕКСНІ НЕРЖАВІЮЧІ СТАЛІ

Дуплексні нержавіючі сталі набувають все більшого поширення. Їх виготовляють всі основні виробники нержавіючої сталі, і на те є цілий ряд причин:

- висока міцність, що дозволяє скоротити вагу виробів;
- висока корозійна стійкість, особливо до корозійного розтріскування.

Кожні 2-3 роки проводяться присвячені дуплексним сталям конференції, на яких презентуються десятки технічних статей. Йде активне просування цього типу сталей на ринку. Постійно з'являються нові марки цих сталей. Але незважаючи на весь цей інтерес, частка дуплексних сталей на світовому ринку становить, за найоптимістичнішими оцінками, від 1 до 3 %. Мета цієї статті – простими словами пояснити особливості цього типу сталі. Будуть описані як переваги, так і недоліки виробів з дуплексної нержавіючої сталі.

Ідея створення дуплексних нержавіючих сталей виникла у 1920-х роках, а перша плавка була проведена у 1930 р. в Авесті, Швеція. Проте помітне зростання частки використання дуплексних сталей припадає тільки на останні 30 років. Пояснюється це в основному удосконаленням технології виробництва сталі, особливо, процесів регулювання вмісту азоту в сталі.

Традиційні аустенітні сталі, такі як AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 і 08X18H10), і феритні сталі, такі як AISI 430 (аналоги DIN 1.4016 і 12X17), досить прості у виготовленні і легко оброблюються. Як випливає з їхніх назв, вони складаються переважно з однієї фази: аустеніту або фериту. Хоча ці типи мають велику сферу застосування, у обох цих типів є свої технічні недоліки: у аустенітних – низька міцність (умовна межа плинності 0,2 % в стані після аустенізації 200 МПа), низький опір корозійного розтріскування.

У феритних – низька міцність (трохи вище, ніж у аустенітних: умовна межа плинності 0,2 % становить 250 МПа), погана зварюваність при великих товщинах, низькотемпературна крихкість. Крім того, високий вміст нікелю в аустенітних сталях призводить до їх подорожчання, що небажано для більшості кінцевих споживачів.

Основна ідея дуплексних сталей полягає в підборі такого хімічного складу, при якому буде утворюватися приблизно однакова кількість фериту та аустеніту. Такий фазовий склад забезпечує наступні переваги:

Хімічний склад елементів, мас. %

Структура	Марка	Позначення по EN	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni	Mo
Феритна	430	1,4016	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015	-	16,0...18,0	-	-
Аустенітна	304	1,4301	0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	0,11	17,5...19,5	8,0...10,5	-

1) високу міцність – діапазон умовної межі плинності 0,2 % для сучасних дуплексних марок сталей становить 400...450 МПа. Це дозволяє зменшувати перетин елементів, а отже їх масу.

Ця перевага особливо важлива в наступних областях:

- судини під тиском і баки;
- будівельні конструкції, наприклад, мости.

2) хороша зварюваність великої товщини – не настільки проста, як у аустенітних, але набагато краще, ніж у феритних.

3) хороша ударна в'язкість – набагато краще, ніж у феритних сталей, особливо, при низьких температурах: зазвичай до -50°C , в деяких випадках – до -80°C .

4) опір корозійного розтріскування (SCC) – традиційні аустенітні сталі особливо схильні до даного типу корозії. Це особливо важливо при виготовленні таких конструкцій, як:

- баки для гарячої води;
- пивоварні баки;
- збагачувальні установки;
- каркаси басейнів.

За рахунок чого досягається рівновага аустеніту/фериту. Щоб зрозуміти, як виходить дуплексна сталь, можна спочатку порівняти склад двох добре відомих сталей: аустенітної – AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 і 08X18H10) та феритної – AISI 430 (аналоги DIN 1.4016 і 12X17).

Основні елементи нержавіючих сталей можна розділити на феритизуючі та аустенітизуючі. Кожен з елементів сприяє утворенню тієї чи іншої структури. Феритизуючі елементи – це хром, кремній, молібден, вольфрам, титан, ніобій. Аустенітизуючі елементи – це вуглець, нікель, марганець, азот, мідь.

У сталі AISI 430 переважають феритизуючі елементи, тому її структура феритна. Сталь AISI 304 має аустенітну структуру в основному за рахунок вмісту близько 8 % нікелю. Для отримання дуплексної структури з вмістом кожної фази близько 50 % необхідний баланс аустенітизуючих та феритизуючих елементів. У цьому полягає причина, чому вміст нікелю в дуплексних сталях в цілому нижче, ніж в аустенітних.

Нижче наведено типовий склад дуплексної нержавіючої сталі.

У деяких з недавно розроблених марок для значного зниження вмісту нікелю використовується-

ся поєднання азоту і марганцю. Це позитивно позначається на стабільності цін.

В даний час технологія виробництва дуплексних сталей ще тільки розвивається. Тому кожен виробник просуває власну марку. На загальну думку, марок дуплексної сталі зараз дуже багато. Але судячи з усього, таку ситуацію ми будемо спостерігати, поки серед них не виявляться «переможці».

Корозійна стійкість дуплексних сталей. Через різноманіття дуплексних сталей при визначенні корозійної стійкості їх зазвичай призводять разом з аустенітними та феритними марками сталей. Єдиної міри корозійної стійкості поки не існує. Однак для класифікації марок сталей зручно користуватися числовим еквівалентом стійкості до виразкової корозії (PREN).

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}.$$

Нижче наведена таблиця корозійної стійкості дуплексних сталей в порівнянні з аустенітними та феритними марками.

Слід зазначити, що дана таблиця може служити тільки орієнтиром при виборі матеріалу. Завжди необхідно розглядати, наскільки підходить певна сталь для експлуатації в конкретному корозійному середовищі.

Корозійне розтріскування (SCC – Stress Corrosion Cracking). SCC – це один з видів корозії, що виникає при наявності певного набору зовнішніх факторів:

- розтягуюча напруга;
- корозійне середовище;
- досить висока температура (зазвичай це 50 °C, але в деяких випадках, наприклад, в плавальних басейнах, вона може проявлятися і при температурі близько 25 °C).

На жаль, звичайні аустенітні сталі, такі як AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 та 08X18H10) та

AISI 316 (аналог 10X17H13M2) найбільш схильні до SCC. Наступні матеріали мають набагато більш високу стійкість до КР:

- феритні нержавіючі сталі;
- дуплексні нержавіючі сталі;
- аустенітні нержавіючі сталі з високим вмістом нікелю.

Опір SCC дозволяє використовувати дуплексні сталі в багатьох процесах, що проходять при високих температурах, зокрема:

- в водонагрівачах;
- в пивоварних баках;
- в опріснювальних установках.

Каркаси басейнів з нержавіючої сталі відомі своєю схильністю до SCC. Використання в їх виготовленні звичайних аустенітних нержавіючих сталей, таких як AISI 304 (аналог 08X18H10) та AISI 316 (аналог 10X17H13M2), заборонено. Для цієї мети найкраще підходять аустенітні сталі з високим вмістом нікелю, такі як марки з 6 % Мо. Однак в деяких випадках в якості альтернативи можна розглядати дуплексні сталі, такі як AISI 2205 (DIN 1.4462) та супердуплексні сталі.

Фактори, що перешкоджають поширенню дуплексних сталей. Привабливе поєднання високої міцності, широкий діапазон значень корозійної стійкості, середня зварюваність повинні нести в собі великий потенціал для збільшення частки дуплексних нержавіючих сталей на ринку. Однак необхідно розуміти, які у дуплексних нержавіючих сталей недоліки і чому вони, судячи з усього, будуть залишатися в статусі «місцевих гравців».

Така перевага, як висока міцність, миттєво перетворюється в недолік, як тільки справа доходить до технологічності обробки матеріалу тиском і механічної обробки. Висока міцність також озна-

Корозійна стійкість сталей

Марка	Номер по EN/UNS	Тип	Орієнтовний PREN
430	1.4016/S43000	Феритна	16
304	1.4301/S30400	Аустенітна	19
441	1.4509/S43932	Феритна	19
RDN 903	1.4482/S32001	Дуплексна	22
316	1.4401/S31600	Аустенітна	24
444	1.4521/S44400	Феритна	24
316L 2.5 Мо	1.4435	Аустенітна	26
2101 LDX	1.4162/S32101	Дуплексна	26
2304	1.4362/S32304	-"-	26
DX2202	1.4062/S32202	-"-	27
904L	1.4539/N08904	Аустенітна	34
2205	1.4462/S31803/S32205	Дуплексна	35
Zeron 100	1.4501/S32760	-"-	41
Ferrinox 255/Uranus 2507Cu	1.4507/S32520/S32550	-"-	41
2507	1.4410/S32750	-"-	43
6 % Мо	1.4547/S31254	Аустенітна	44

Марка	Номер по EN/UNS	Тип	Приблизний склад						
			Cr	Ni	Mo	N	Mn	W	Cu
LDX 2101	1.4162/S32101	Низьколегована	21,5	1,5	0,3	0,22	5	-	-
DX 2202	1.4062/S32202	-"	23	2,5	0,3	0,2	1,5	-	-
RDN 903	1.4482/S32001	-"	20	1,8	0,2	0,11	4,2	-	-
2304	1.4362/S32304	-"	23	4,8	0,3	0,10	-	-	-
2205	1.4462/S31803/S32205	Стандартна	22	5,7	3,1	0,17	-	-	-
2507	1.4410/S32750	Супер	25	7	4	0,27	-	-	-
Zeron 100	1.4501/S32760	-"	25	7	3,2	0,25	-	0,7	0,7
Ferrinox255/Uranus 2507Cu	1.4507/S32520/S32550	-"	25	6,5	3,5	0,25	-	-	1,5

чає нижчу, ніж у аустенітних сталей, здатність до пластичної деформації. Тому дуплексні сталі практично непридатні для виробництва виробів, в яких потрібна висока пластичність. І навіть коли здатність до пластичної деформації на прийнятному рівні, все одно для надання необхідної форми матеріалу, як, наприклад, при згинанні труб, потрібно більше зусилля. Відносно поганої оброблюваності різанням є один виняток з правил: марка LDX 2101 (EN 1.4162), виробник Outokumpu.

Процес виплавки дуплексних нержавіючих сталей набагато складніший, ніж аустенітних і феритних сталей. При порушенні технології виробництва, зокрема, термообробки, крім аустеніту та фериту в дуплексних сталях може утворюватися цілий ряд небажаних фаз. Дві найбільш значимі фази зображені на наведеній нижче діаграмі.

Обидві фази призводять до появи крихкості, тобто втрати ударної міцності.

Утворення σ -фази (більш 1000 °C) найчастіше відбувається при недостатній швидкості охолодження в процесі виготовлення або зварювання. Чим більше в сталі легуючих елементів, тим вище ймовірність утворення σ -фази. Тому найбільш схильні до цієї проблеми супердуплексні сталі.

475°- крихкість з'являється внаслідок утворення фази, що носить назву α' . Хоча найбільш небезпечна температура 475 °C, вона може утворю-

ватися і при більш низьких температурах, аж до 300 °C. Це накладає обмеження на максимальну температуру експлуатації дуплексних сталей. Це обмеження ще більше звужує коло можливих областей застосування.

З іншого боку, є обмеження по мінімальній температурі експлуатації дуплексних сталей, для яких вона вище, ніж у аустенітних. На відміну від аустенітних сталей, у дуплексних при випробуваннях на удар має місце крихко-в'язкий перехід. Стандартна температура випробувань сталей, що використовуються в конструкціях для шельфового видобутку нафти і газу, становить мінус 46 °C. Зазвичай дуплексні сталі не використовуються при температурах нижче мінус 80 °C.

Короткий огляд властивостей дуплексних сталей:

- розрахункова міцність в два рази вище, ніж у аустенітних і феритних нержавіючих сталей;
- широкий діапазон значень корозійної стійкості, що дозволяє підібрати марку під конкретну задачу;
- хороша ударна міцність до мінус 80 °C, що обмежує застосування в криогенних середовищах;
- виняткова стійкість до корозійного розтріскування;
- хороша зварюваність великого перерізу;
- більша складність при механічній обробці і штампуванні ніж у аустенітних сталей;
- максимальна температура експлуатації обмежена 300 °C.

Матеріал з сайту

Британської Асоціації Нержавіючої Сталі.

www.bssa.org.uk

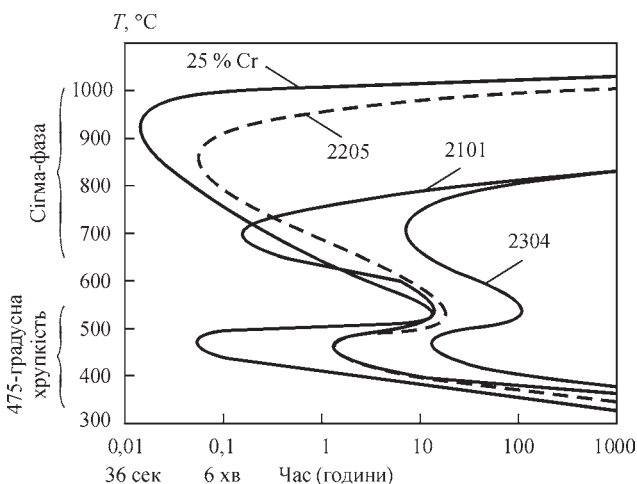


Рис. Области виділення фаз в дуплексних сталях

По закордонним журналам

Реферати статей з журналу
«Welding in the World», №3, 2020 р.*

Норми при ремонті конструкцій із сталевих виробів. *Michail Karpenko, Holger Heinzl, Thore Broderson & Alan McClintock*, pp. 419–427

Інспекція є невід'ємною частиною системи контролю якості зварних виробів. Для сталевих конструкцій у Новій Зеландії зазначен тип та рівень перевірки, які ґрунтуються на підході з урахуванням ризику застосування стандартних стандартів виготовлення та зведення конструкційних металоконструкцій (AS / NZS 5131). Цей підхід перетворюється на відповідну цільову оцінку, яка забезпечує те, що виготовлення та зведення сталевих конструкцій ґрунтуються на раціональній оцінці ризику, з урахуванням важливості конструкції, заходів технічного обслуговування та інспекції, складності виготовлення та зведення. Вимоги до інспекції були розроблені з урахуванням найкращої міжнародної практики і забезпечують ефективний засіб для досягнення придатних металевих конструкцій. Хоча інспекція є важливим кроком у системі контролю якості зварних виробів, вона також додає значний фактор витрат. Визнаючи необхідність зменшення ризику в сейсмічному середовищі металургійної промисловості, Нова Зеландія створила схему сертифікації виготовлення сталі (SFC), яка вимагає, щоб виробники відповідали AS / NZS 5131, включаючи AS / NZS ISO 3834.2. Однак нинішні вимоги до інспекції не враховують зусилля виробника з управління якістю та досвід роботи. Мета цього дослідження полягала в тому, щоб вивчити швидкість ремонту зварного шва (також його називають коефіцієнтом невідповідності або коефіцієнт дефектів) в конструкціях зі сталі та встановити ключові параметри, що впливають на рівень якості зварних швів. Дослідження ґрунтується на даних 37 завершених конструкцій металургійного виробництва, наданих вісьмома новозеландськими виробниками металургійного виробництва. Він був доступний у формі звітів сторонніх інспекцій для всіх швів, які були перевірені в окремих проектах. Більш детальна інформація була надана про деталі проекту. Проекти, що охоплюються у цьому звіті, включають різні рівні розміру та складності. У цьому документі узагальнено результати дослідження та подано рекомендації подальшої дослідницької роботи щодо оптимізації вимог до інспекції на основі аналізу даних про дефекти з метою оптимізації інспекційних зусиль.

Виробництво з легкого алюмінієвого сплаву EN AW-7075. *Anika Langebeck, Annika Bohlen, Hannes Freisse & Frank Vollertsen*, pp. 429–436

Поряд з шороко застосованими технологіями виготовлення деталей, процес виготовлен-

ня з застосуванням лазера (LMD), також відомий як осадження прямої енергії (DED), часто використовується для виготовлення великогабаритних деталей. Переваги процесу LMD – це висока швидкість накопичення, а також його майже необмежений об'єм нарощування. Для виготовлення великогабаритних деталей у легкій конструкції з високоміцного алюмінієвого сплаву EN AW-7075 процес LMD має недолік, який слід враховувати. Під час процесу алюмінієвий сплав плавиться і тому має високу розчинність у водні. Як тільки басейн розплаву знову кристалізується, водень не може вийти з розплаву і утворюються водневі пори, що послаблює механічні властивості виготовленої деталі. Щоб протистояти цьому недоліку, водень потрібно успішно тримати подалі від технологічної зони. Тому покриття технологічної зони екрануючим газом може бути покращено за допомогою додаткового екрануючого газового покриття. Крім того, параметри технологічного введення енергії на одиницю довжини, а також горизонтальне перекриття між двома окремими доріжками можна змінювати, щоб мінімізувати об'єм пор. Найкращих результатів можна досягти в одиночних доріжках із підвищеним введенням енергії на одиницю довжини від 3000 до 6000 Дж/см. Для виготовлення шарів мінімальне горизонтальне перекриття призведе до найменшого об'єму пор, хоча це призводить до дуже хвилястої поверхні, оскільки компроміс із малим об'ємом пор та майже рівною поверхнею забезпечується при горизонтальному перекритті від 30 до 37 % з об'ємом пор $0,95 \% \pm 0,50 \%$.

Дослідження виникнення різних режимів змочування при лазерній пайці оцинкованих сталевих листів. *Thorsten Mattulat, Helge Kügler & Frank Vollertsen*, pp. 449–456.

В автомобільній промисловості якість крайових лазерних паяних швів є вирішальним фактором для необхідності високих оптичних стандартів якості видимих для споживачів з'єднань деталей кузова автомобіля з оцинкованим покриттям. Тип оцинкованого покриття є визначальним для отриманої геометрії країв швів, які прагнуть бути прямими. Пайка гарячої оцинкованої сталі при звичайній установці пайки не призводить до того, що краї швів відповідають необхідній оптичній якості. У цьому дослідженні проаналізовано змочування мідного заповнювального дроту на електрогальванізованих та гаряче оцинкованих сталевих листах для підвищення розуміння впливу змочувальних фронтів на якість краю шва. Для цього визначаються змочувальні фронти на високошвидкісних зображеннях

камер, а отримані краї шва фіксуються мікроскопічними знімками. Результати показують, що обидва типи цинкових покриттів мають два основні режими змочування, але з різною ймовірністю виникнення: один із крутим фронтом змочування та випаровуванням цинку перед змочуванням (та «зволоження крутим кутом») та другий, де рідкий цинк з'єднується з мокнучим фронтом і створює плоский кут змочування («плоский кут змочування»). Встановлено, що якість краю шва в основному залежить від існуючого режиму змочування. Однак для «змочування плоским кутом», в режимі з недостатньою якістю крайових швів, виявляється самостабілізуючий ефект, що відповідає за відсутність вікна технологічного паяння для пайки гарячої оцинкованої сталі з достатньою якістю краю шва.

Локальна зміна ударної в'язкості в зварюваному з'єднанні. *Kangmyung Seo, Hoisoo Ryoo, Hee Jin Kim, Chul-gyu Park & Changhee Lee*, pp. 457–465.

Для виявлення мікроструктурних факторів, що спричиняють локальну крихкість зварного з'єднання з електрогазовим (EG), досліджено зварні з'єднання EG, вироблені тандемним способом EGW, використовуючи дві різні сталеві пластини типу: сталь з TiN (високий вміст азоту) та звичайна сталь EN 36. Експериментальні результати показали, що на відміну від звичайної сталі сталь з TiN демонструє велике розсіювання значень удару у ЗТВ, що обумовлено локалізованим огрубінням зерен в зоні, обмеженій дуже вузькою ділянкою за лінією плавлення. Крім того, в центрі металу зварного шва утворюється пучок паралельних стовпчастих зерен, що вирівнюються у вертикальному напрямку зварювання, внаслідок чого утворюються граничні феритні жилки зерна, вишикувані в тому ж напрямку. Крихка природа феритного зерна змушує тріщини легко поширюватися по цих жилах, викликаючи раптове падіння ударної в'язкості в центрі металевого шва EG.

Вплив тривалого впливу при 650 °С на мікроструктурні та повзучі характеристики з'єднань T92 / Super304H з різними швами. *Nandha Kumar E, G. D. Janaki Ram, K. Devakumaran & Ravi Sankar Kottada*, pp. 467–481.

Це дослідження повідомляє про вплив витримки при 650 °С на мікроструктурну еволюцію та повзучість термічно оброблених після зварювання різних зварних швів між сплавами T92 та Super304H. Різні зварні шви піддавались обробці тривалістю 24, 100, 250, 500 та 1000 год для дослідження термічної стійкості мікроструктури. Випробування на повзучість проводили при температурі 650 °С та 120 МПа без термічної обробки після зварювання та після 1000 год. Ізотермічне опромінення погіршило мікроструктуру T92-HAZ, що призвело до прискорення швидкості руйнування при повзучості. Крім того, спостерігалось прискорене відновлення мартенситних планок та великі опади фази Лавеса на карбідах M23C6, що

розташовувались на межі зерен під час деформації повзучості. Ізотермічна експозиція на Super304H-HAZ не показала суттєвих мікроструктурних змін, крім опадів товстих карбідів M23C6 на межах зерен. Ці помітні мікроструктурні зміни в HAZ T92 призводять до прискореного утворення пустот у ФГТАЗ і є причиною передчасного руйнування.

Вплив параметрів зварювання на мікроструктуру та механічні властивості фрикційно-зварених різних з'єднань сплаву AA6063 та поверхневого конічного сплаву AISI304L. *Senthil Murugan S, Noorul Haq A & Sathiya P*, pp. 483–499.

Механічне з'єднання між різними металами оскаржується через відмінності в їх властивостях. У даній роботі досліджено вплив фрикційного зварювання (FW) між AA6063 та AISI304L та вплив параметрів зварювання для отримання якісних з'єднань. Для цього дослідження були проведені різні експерименти з основними впливаючими параметрами, такими як тиск напруги (UP), час тертя (FT) та тиск тертя (FP). Випробування на розтяг, випробування на удар та розподіл мікротвердості вздовж зони зварного шва, зони впливу тепла (HAZ), основної зони зварного з'єднання були оцінені та результати порівняні. Дослідження мікроструктури, проведене за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM), виявило зв'язок між двома різними металами. Аналіз фрактографії показав ямочний розрив. Міцність на розрив і пікове навантаження зростали зі збільшенням тиску тертя. Утворення інтерметалічних сполук на межі шва було підтверджено спектром EDX. Скорочення на плавці поверхні зразка SS304L скорочує час тертя, необхідне для міцних зварних з'єднань і підвищує властивості з'єднання. Оскільки не було проведено помітних досліджень щодо з'єднання між AA6063 та AISI304L з мінімальним робочим тиском через FW, цій роботі було приділено особливу увагу. Мінімальні параметри, необхідні для приєднання, також були зрозумілі в рамках цього дослідження.

Експериментальне та чисельне дослідження впливу гібридних параметрів лазера при зварюванні з частковим проникненням на тріщину твердіння в корені шва. *Nasim Bakir, Ömer Üstündağ, Andrey Gumenyuk & Michael Rethmeier*, pp. 501–511.

Метою даного дослідження є дослідження впливу параметрів лазерного гібридного зварювання на тріщини затвердіння в корені шва для зварювання з частковим проникненням. Зварювальні випробування проводились на високоміцних сталях з високою міцністю марки S690QL з однаковою критичною інтенсивністю, з різницею швидкості зварювання, швидкості подачі дроту та фокусного положення лазерного променя. Було встановлено, що швидкість зварювання має великий вплив на явище крекінгу твердіння. Зниження швидкості зварювання призводить до зменшення

кількості тріщин в корені зварного шва. Потужність дуги також має незначний вплив на тріщину затвердіння, тоді як зміна фокусного положення лазерного променя також демонструє неабиякий ефект. Крім того, було проведено чисельне моделювання для розуміння термомеханічної поведінки зварних швів за різними параметрами зварювання для сприяння інтерпретації результатів експериментів.

З'єднання перекриття алюмінію та міді з використанням лазерного мікрозварювання з просторовою модуляцією потужності. *S. Hollatz, P. Heinen, E. Limpert, A. Olowinsky & A. Gillner*, pp. 513–522.

Зростаючий попит на акумуляторні мобільні системи великої потужності вимагає підключення великої кількості комірок. Завдяки функціональності клітинної хімії необхідне поєднання міді та алюмінію. Різні властивості матеріалу, такі як теплопровідність, а також утворення інтерметалічних фаз є складними для зварювальних процесів. У цьому дослідженні містяться результати з'єднання міді та алюмінію, що перекриваються, за допомогою процесу лазерного зварювання з просторовою модуляцією потужності. За допомогою зміни параметрів форму поперечного перерізу зварних швів і, отже, відношення глибини до ширини можна регулювати. За допомогою додаткових поздовжніх перерізів та енергетично-дисперсійного рентгенівського спектроскопічного аналізу досліджується різна поведінка змішування різного матеріалу залежно від верхнього шару.

Вдосконалена мікроструктурна характеристика литого сплаву ATI 718Plus® – ефект термообробки для гомогенізації вторинних фаз та при відновленій зварювальній роботі. *Fabian Hanning, Abdul Khaliq Khan, Joel Andersson & Olanrewaju Ojo*, pp. 523–533.

Вплив основного металу на розтріскування зварних швів відлитого сплаву ATI 718Plus® досліджується шляхом порівняння термічних процесів гомогенізації протягом 4 та 24 год при температурі 1120, 1160 та 1190 °C. Скануюча електронна мікроскопія (SEM), рентгенівська дифракція (XRD) на електролітично екстрагованому порошку та трансмісійна електронна мікроскопія (TEM) використовувались для ідентифікації вторинних фаз, багатих Nb, у міжфазових областях, як фаза C14 Лавеса та тип Nb (Ti) MC карбіди. Всі термообробки гомогенізації розчиняють фазу Лавеса. Ремонтне зварювання було змодельовано лінійним канавним багатопрхідним ручним газоелектричним вольфрамовим зварюванням (GTAW). Фаза Лавеса в мікроструктурі призвела до зменшення загальної довжини тріщин. Ліквідація карбідів типу Nb (Ti) MC спостерігається як механізм ліквідації в мікроструктурі, що не містить фази Лавеса, тоді як утворення густої рідкої плівки за рахунок евтектичного плавлення Ла-

веса може зменшити утворення зварювальних тріщин у мікроструктурах, що містять фазу Лавеса.

Середня корекція напруги в конструкції втоми з урахуванням залишкової напруги при зварюванні. *Jonas Hensel*, pp. 535–544.

На втомну міцність зварених сталей впливають прикладене середнє навантаження і залишкове напруження поблизу зварного шва. Середня корекція напруги в конструктивних концепціях втоми, що застосовуються для зварних конструкцій, зазвичай розрізняє три суб'єктивні узагальнені залишкові напруги, «низьку, середню та високу» залишкові напруги при розтягуванні. Ця якісна обробка залишкової напруги призводить до неточної оцінки залишкових напружених ефектів, зокрема, при наявності залишкової напруги при стисненні або застосуванні високоміцних сталей. Завдання основного дослідження – підкреслити взаємодію середнього напруження навантаження з залишковим напруженням та запропонувати підхід для комбінованого «лікування» цих компонентів напруги в концепції номінальної напруги. Представлені та обговорені принципи середнього стресу та залишкового стресового впливу на втому. Крім того, підкреслюється роль релаксації залишкового стресу, а циклічно стабілізований локальний залишковий стрес поєднується із середньою напругою та ефективною середньою напругою. Для кількісної оцінки залишкових та середніх стресових ефектів введена концепція проектування втоми локальних меж витривалості та середнього ефективного напруження. Нарешті, ефективний підхід середнього напруження застосовується до поздовжніх жорсткостей, конструкцій, виготовлених з різних марок сталі, що містять різні умови залишкової напруги. Показано, як можна регулювати проектні криві *S-N* на основі кількісного ефективного середнього напруження. Нарешті, представлена вдосконалена концепція бонусного фактора, заснована на ефективній середній напрузі, яка дозволяє визначити середню корекцію напруги з урахуванням залишкового стресового стану.

Дослідження красвої втомної міцності високоміцних сталей при різних методах різання. *P. Diekhoff, J. Hensel, Th. Nitschke-Pagel & K. Dilger*, pp. 545–561.

Існує інтерес до ефективних легких конструкцій з високоміцних сталей. Різні процеси термічного різання часто застосовуються в металургійній промисловості. Крім зварювальних швів, вільні ріжучі кромки набувають технічної та економічної актуальності як місця для виникнення потенційних тріщин втоми. У цьому дослідженні було проведено випробування на втому на зразках товщиною 8 мм зі сталі S355M та S690Q при напруженості $R = 0,1$. Методами різання були кисневе, плазмове, лазерне та гідроструминне. Для

деяких серій застосовувались методи покращення якості, такі як луцення шліфування, шліфування та зменшення швидкості різання. Шорсткість поверхні вимірювали для класифікації зразків на групи якості відповідно до ISO 9013. Стан перерізу також характеризувався вимірюванням твердості та залишкового напруження. Дослідження показує, що всі випробувані серії перевищують клас FAT100 і можуть бути класифіковані у FAT125. Зразки варіювали в групі якості 2 ISO 9013 відповідно до шорсткості, яка досягає FAT140 незалежно від технології різання чи матеріалу. Відповідно до ISO 9013, більшість зразків класифіковані у групу якості 2 та групу 3. Результати міцності втомлення значно відрізняються в одній групі якості. Прогнозувати не можна. ISO 9013 має слабкий зв'язок із міцністю на втому. Методи поліпшення якості мають істотний вплив на силу втоми і можуть її підвищити. Завдяки зниженій швидкості різання також зменшується шорсткість. Це призводить до збільшення втомної сили у всіх випробуваних серіях цього дослідження. Для того, щоб зробити прогноз продуктивності втомлення, слід уточнити стандарт і врахувати процес різання, а також міцність сталі.

Індукційне паяння металокераміки до сталевих та вихрових випробувань якості суглобів. *Andres Laansoo, Jakob Kübarsepp, Andrei Surženkov, Raul Land, Olev Märtens & Mart Viljus*, pp. 563–571.

Основною метою дослідження було продемонструвати доцільність індукційного паяння металокерамік на основі TiC із зв'язуючими Fe- та Ni-сплаву в атмосфері навколишнього середовища. Вторинною метою було дослідити можливість використання інноваційного швидкого неруйнівного методу безконтактного тестування, заснованого на вимірюванні вихрового струму для оцінювання якості суглобів. Застосовували металеві наповнювачі на основі Ag- та Cu та відповідні флюси, розроблені для пайки цементованих карбідів (WC-Co) до сталі. Результати мікроструктурного дослідження та випробування на міцність на зсув дозволили зробити висновок, що металокераміка на основі TiC (TiC-FeCr і TiC-NiMo) можуть

бути успішно паяні в атмосфері навколишнього середовища, використовуючи метали наповнювачів і флюси, розроблені для цементованих карбідів на основі WC. Міцність на зсув стиків понад 200 МПа може бути досягнута. За аналогічних умов пайки, з'єднання TiC-FeCr – сталь вигідно порівняно зі з'єднаннями TiC-NiMo – сталь за міцністю на зсув. Міцність на зсув металочерепиці (сталь – TiC), паяні металевим наповнювачем на основі срібла (Ag449), незначно збільшується (~ 13%) після тривалого нагрівання при підвищеній температурі (250 °C).

Було встановлено, що випробування на вихровий струм є перспективним для швидкої оцінки якості паяних з'єднань з однаковими розмірами та хімічним складом багаточарових конструкцій. Диференціація результатів вимірювань найкраща на частотах у діапазоні 10...100 кГц.

Поведінка повзучості та руйнування зварного шва з'єднань сталі СВ2 після тривалого відпалення. *Stan T. Mandziej & Anna Vyrostkova*, pp. 573–590.

Сталь СВ2 для товстих виливків була розроблена та досліджена в рамках заходів ЄС з розробки та впровадження COST-522 та COST-536 для роботи в надкритичних умовах магістральних паропроводів. Сталь виявляє втрату ударної міцності та твердості після тривалого відпалу, а також міцності та терміну експлуатації при випробуванні на повзучість після довгого відпалу. Найбільш помітне зменшення властивостей виявляється в зонах ураження теплом зварних швів під час випробувань на повзучість. Відмінність мікроструктури основного металу (ВМ) та зони ураження теплом зварного шва (НАЗ) вивчали у початковому стані та після тривалого відпалу (старіння протягом 10 та 30 год при 625 °C) з подальшим випробуванням на повзучість. Початкова мікроструктура СВ2 в литті неоднорідна, а термічний цикл зварювання викликає додаткове розділення фаз у міжкритичній області. Спостереження показали появу у НАЗ великих феритових зерен між компактними колоніями карбідів, що пов'язано зі зниженням сили повзучості та терміну служби в НАЗ.

XIX МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2020
МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

24-27 листопада

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

Генеральний інформаційний партнер: **Центр**
Експлуатаційний медіа партнер: **ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА**

Технічний партнер: **Тех**

Міжнародний виставковий центр
Україна, 02002, Київ
Броварський пр-т, 15
"Лисобережжя"
(044) 201-11-55, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.mei.ukr
www.tech-expo.com.ua

XII Міжнародна спеціалізована виставка

КИЇВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЯРМАРОК

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15
тел.: (044) 201-11-55, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua, plst@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

24-27 листопада 2020

Інформаційний партнер: **Центр**
Експлуатаційний медіа партнер: **ГОЛОВНОГО ІНЖЕНЕРА**
Технічний партнер: **Тех**