

УДК 620.178.15

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ НЕСУЧИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ЛИСТОВИХ СТАЛЕЙ В БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИНАХ ТА МАШИНАХ ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

І.В. Дощечкіна, доц., к.т.н., Н.О. Лалазарова, доц., к.т.н., Д.С. Терещенко, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Показано можливість підвищення надійності зварних несучих конструкцій із двофазних сталей підвищеної міцності шляхом мікролегування зварного шва ітрієм.

Ключові слова: наплавлення, покриття електрода, присадка ітрію, структура, властивості, зварні з'єднання.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕСУЩИХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИНАХ И МАШИНАХ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

И.В. Дощечкина, доц., к.т.н., Н.А. Лалазарова, доц., к.т.н.,
Д.С. Терещенко, студент,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Показана возможность повышения надежности сварных несущих конструкций из двухфазных сталей повышенной прочности путем микролегирования сварного шва иттрием.

Ключевые слова: наплавка, покрытие электрода, присадка иттрия, структура, свойства, сварные соединения.

IMPROVING RELIABILITY OF BEARING WELDED SHEET STEEL STRUCTURES IN ROAD-CONSTRUCTION AND EARTH MOVING MACHINES

I. Doshchechkina, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),
N. Lalazarova, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),
D. Tereshchenko, St., Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Possibility to increase reliability of welded bearing structures of the two-phase high strength steels by microalloying of the welded joint by yttrium has been shown.

Key words: welding, electrode coating, yttrium additive, structure, properties, welded joints.

Вступ

Основні несучі конструкції (тягові, штовхальні та опорні рами) будівельно-дорожніх машин (БДМ) і машин для земляних робіт (МЗР) виготовляють зі сталевих листових холоднокатаного прокату шляхом зварювання. Останнім часом для таких навантажених конструкцій досить складної конфігурації широко використовують листові низьколеговані двофазні феритно-мартенситні сталі

(ДФМС) підвищеної міцності, що зумовлено прагненням до поліпшення якості та підвищення працездатності виробів, зменшення маси і зниження витрат пального.

При всезростаючому ускладненні як самих конструкцій машин і механізмів, так і умов їх експлуатації актуальними є питання надійності та довговічності відповідальних зварних з'єднань. Якість зварного з'єднання визначає працездатність вузла і машини в цілому. У

зв'язку з цим забезпечення задовільної зварюваності й отримання більш якісного зварного з'єднання – необхідні умови застосування ДФМС підвищеної міцності для зварних конструкцій, на яких монтують робочі органи, а також механізми і складальні одиниці машин, отже, від яких залежить ресурс машини в цілому.

Аналіз публікацій

Структура ДФМС, що містить 20–25 % мартенситу, забезпечує підвищення міцності при збереженні технологічної пластичності, але при цьому погіршується зварюваність, а отже, і надійність зварного з'єднання [1]. Деталі з листових двофазних сталей отримують методами холодної пластичної деформації, що спричиняє наклеп. Отже, деформаційне зміцнення ще додатково негативно позначається на зварюваності.

Перспективним і актуальним напрямом підвищення працездатності зварних з'єднань є мікролегування зварного шва рідкісноземельними металами (РЗМ), які є модифікуючими, рафінуючими та легувальними елементами [2, 3].

Завдяки високій хімічній активності щодо шкідливих домішок РЗМ очищують метал, а також зменшують схильність до перегріву, забезпечують отримання дрібного однорідного зерна, сприяють збільшенню дисперсності та глобуляризації неметалевих включень, очищенню границь зерен. Зазначені ефекти збільшують стійкість зварних з'єднань до крихкого руйнування і роблять їх більш надійними. У роботах [3, 4] показано також покращення зварюваності вуглецевих і середньолегованих сталей при мікродобавках РЗМ, підвищення щільності зварного шва.

Із літературних джерел [4, 5] і наших попередніх досліджень [6] відомо, що серед РЗМ більш ефективний вплив на структуру і властивості металу має ітрій (Y). Але стосовно використання його для легування двофазних сталей підвищеної міцності, і тим більш для легування зварного шва при з'єднанні елементів із цих сталей, даних немає.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є покращення експлуатаційних властивостей зварних несучих конструк-

цій БДМ та МЗР, виготовлених із двофазних низьколегованих сталей підвищеної міцності, шляхом мікролегування металу шва Y.

Матеріал та методика досліджень

Зварні з'єднання отримували з листової сталі 09Г2С. Використовували електроди діаметром 4 мм марки УО-1 типу Е50А із додаванням у покриття Y різної концентрації, відсоток якого розраховувався відносно ваги покриття електрода. Порошкоподібний Y в шихту покриття вносили в кількостях 0,2...3,0 %.

Для хімічного аналізу, досліджень мікроструктури і механічних властивостей використовували багат шарове наплавлення висотою 25 мм на модельну сталь 10. Зварювання і наплавлення виконували на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму дорівнювала 200...210 А.

Дослідження проводилися за допомогою металографічного й електронного мікроскопів («Аxiomat» і УЕМ-100К). Оцінку розміру зерен та обробку результатів здійснювали за допомогою спеціальної комп'ютерної програми. Механічні властивості визначали на стандартних розривних та ударних зразках. Випробування на ударний згин за від'ємних температур проводилися в охолоджувальному середовищі (суміш вуглекислоти зі спиртом).

Результати досліджень та їх обговорення

Хімічний аналіз показав практично однаковий склад металу, наплавленого серійним електродом і електродами з Y (табл. 1).

Істотно змінився лише вміст сірки. Залишкова кількість Y в наплавленому металі, залежно від відсотка додавання його в шихту покриття електрода, наведена в табл. 2, з якої видно, що ступінь засвоєння Y є дуже малим (1...7 %).

Табл. 1 свідчить, що в 3 рази зменшується кількість сірки в наплавленому металі, який містить всього 0,006 % Y.

Металографічні дослідження зафіксували і більш рівномірний її розподіл. Зменшується в наплавленому металі й кількість фосфору (на 60 %).

Таблиця 1 Хімічний склад наплавленого металу

Елемент	Кількість елементів, %	
	Серійний електрод	Електрод з 0,3 % ітрію
C	0,08	0,08
Si	0,6	0,05
Mn	1,0	1,1
Cr	< 0,1	< 0,1
Ni	< 0,1	< 0,1
S	0,03	< 0,01

Таблиця 2 Залишковий вміст Y в наплавленому металі

Додавання ітрію в покриття, %	Вміст ітрію в наплавленому металі, %
0,2	0,005
0,3	0,006
0,6	0,0075
1,0	0,008
3,0	0,009

Під впливом Y змінюється кількість, характер і розташування усіх неметалевих включень у наплавленому металі. Додавання 0,2 % Y в покриття електрода ще не вносить суттєвих змін у мікроструктуру. Після присадки 0,3 % Y загальна кількість включень зменшується, вони подрібнюються, зменшуються, набувають округлої форми і розподіляються рівномірно по перерізу. При добавках більше 1 % Y спостерігається подальше подрібнення включень, але помітно збільшується їх кількість. Таким чином, максимальний рафінуючий ефект фіксується під час внесення в покриття електрода 0,3 % Y.

Незважаючи на дуже малу залишкову кількість Y в наплавленому металі, він дуже суттєво впливає на розмір зерна. В наплавленні електродом без Y 40 % усього об'єму займають зерна розміром 30 мкм. При 0,3 % Y в покритті електрода різко зменшується різнозернистість і 56 % об'єму займають зерна

розміром 16 мкм, зменшені майже в 2 рази порівняно з наплавленням серійним електродом. За збільшення додавання Y до 0,6 % тенденція до подрібнення зерна зберігається – 65 % зерен мають розмір 10 мкм, але при цьому збільшується загальна забрудненість металу неметалевими включеннями. У разі введення в покриття електрода більше 1 % Y по границях зерен спостерігається масивне виділення крихкої нової фази, яка є складним карбідом Y.

Зазначені зміни мікроструктури істотно позначилися на рівні механічних властивостей металу наплавлення. Присадки Y в кількостях 0,2–0,4 % забезпечують підвищення характеристик міцності ($\sigma_{0,2}$ зростає від 420 до 600 МПа), і при цьому дещо збільшується пластичність. Ударна в'язкість від 15 Дж/см² підвищується до 34 Дж/см². Однак зі збільшенням вмісту ітрію понад 1 % зміцнюючий ефект від зазначених вище структурних змін нівелюється негативним впливом крихкої ітрієвої фази.

Важливим показником працездатності наплавленого металу є значення ударної в'язкості за від'ємних температур експлуатації. Оскільки Y є активним розкислювачем, десульфуратором і модифікатором, то, безумовно, він повинен ефективно вплинути на опір динамічним навантаженням за зниження температури. Як показали дослідження, найбільший ефект фіксується при додаванні 0,3 % Y – ударна в'язкість при –60 °C є в 2 рази вищою, ніж у металі, наплавленому серійним електродом, і зберігається на рівні значень, отриманих для серійного електрода за кімнатної температури. Збільшення вмісту Y в покритті до 0,6–2 % призводить до зниження показників ударної в'язкості у всьому температурному інтервалі, що пов'язано із забрудненням структури сполуками і появою нової крихкої ітрієвої фази.

Таблиця 3 Механічні властивості зварних з'єднань зі сталі 09Г2С, виконаних серійним і дослідним електродами з ітрієм

Сталь	Електрод	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²					
						20°	0°	-20°	-40°	-60°	-70°
9Г2С	Серійний	550	400	29	72	1,9	1,7	1,7	1,2	0,9	0,7
	Дослідний	40	60	30	71	2,5	2,3	2,2	1,7	1,3	1,0

Однак значення ударної в'язкості для всіх досліджених варіантів з Y залишаються вищими, ніж для серійного електрода за однакових температур. Додавання Y в покриття

електродів значно покращує зварювально-технологічні характеристики: підвищується стабільність горіння дуги, зменшується розбризкування металу.

Утворена шлакова кірка добре захищає метал і легко відділяється при охолодженні.

Аналіз змін мікроструктури, механічних властивостей металу й технологічних показників процесу зварювання свідчить, що оптимальним є додавання в покриття електрода 0,3 % Y.

Оскільки електроди з 0,3–0,4 % Y показали високі механічні властивості як за кімнатної, так і за знижених температур, їх було застосовано для зварювання конструкцій із двофазної сталі 09Г2С. Зварювання проводили електродом діаметром 4 мм за сили струму 160–180 А і напруги на дузі 26–28 В. Результати механічних випробувань зварних з'єднань наведені в табл. 3.

Із таблиці видно, що характеристики міцності зварних з'єднань, виконаних електродами з Y, вищі порівняно із серійним електродом. Пластичність при цьому зберігається практично на тому ж рівні, тоді як ударна в'язкість, особливо за низьких температур, зростає.

Поліпшення зварюваності, підвищення запасу пластичності та ударної в'язкості за кімнатної і низької температур збільшують опір зварних конструкцій крихкому руйнуванню і надійність машини в цілому.

Висновки

Підвищення міцності без зниження пластичності, а також покращення холодостійкості зварних навантажених конструкцій із листової двофазної сталі 09Г2С можна досягти шляхом використання зварювальних матеріалів (електродів, проволоки) із присадкою ітрію.

Оптимальна добавка ітрію 0,3 % покращує технологічні параметри процесу зварювання, забезпечує отримання якісного щільного зварного шва і зменшує ймовірність руйнування.

Електроди із присадкою ітрію можуть бути успішно використані при виготовленні несучих рам та інших навантажених зварних з'єднань із листових двофазних сталей в конструкціях ДБМ та МЗР.

Література

1. Ряхин В.А. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин / В.А. Ряхин, Г.Н. Мошкарёв. – М. : Машиностроение, 1984. – 232 с.
2. Голованенко С.А. Двухфазные низколегированные стали / С.А. Голованенко, Н.М. Фонштейн. – М. : Металлургия, 1986. – 206 с.
3. Ефименко Н.Г. Металловедение и термическая обработка сварных соединений / Н.Г. Ефименко, Н.А. Радзивилова. – Харьков, 2003. – 488 с.
4. Александров А.Г. Влияние РЗМ на структуру и механические свойства шва при сварке чугуна, стали и сплавов / А.Г. Александров, П.П. Лабезнов // Автоматическая сварка. – 1982. – №12. – С. 34–37.
5. Ефименко Н.Г. Комплексная оценка влияния иттрия на свойства сварных швов сталей / Н.Г. Ефименко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 8. – С. 18–24.
6. Тарасюк А.И. Влияние иттрия на механические свойства трубной стали / А.И. Тарасюк, В.В. Морнева // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2012. – Вип. 24. – С. 37–43.
7. Дощечкина И.В. Повышение срока службы деталей ходовой части трактора / И.В. Дощечкина, С.С. Дьяченко, И.С. Татаркина // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2008. – Вип. 68. – С. 70–74.

Рецензент: Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 22 березня 2016 р.