

УДК 621.793

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ОХРУПЧУВАННЯ МЕТАЛУ ЗТВ
ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ СТАЛІ 08X18Г8Н2Т****©Дерябкіна Є. С., Огороков А. Р.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Дерябкіна Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124; 216464@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Огороков Антон Романович: ORCID: 0000-0001-9005-5766; okorokovanton@mail.ru; студент факультету інтегрованих технологій в виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Досліджено вплив термоциклічної обробки на зміни структури і ударної в'язкості зони термічного впливу зварного з'єднання сталі 08X18Г8Н2Т, у результаті чого встановлено, що термоциклування в інтервалі 700-900 °С дозволяє підвищити ударну в'язкість ЗТВ до рівня основного металу у стані поставки. Використання даної сталі замість сталі 12X18Н10Т у хімічному машинобудуванні дозволяє заощадити до 80 кг дефіцитного і дорогого нікелю на 1 т прокату.

Використані сучасні методики механічних випробувань, метало- і електронографічних досліджень.

Ключові слова: феритно-аустенітна сталь; вміст нікелю; зона термічного впливу; термічний цикл зварювання; термоциклічна обробка; ударна в'язкість.

Дерябкина Е. С., Огороков А. Р. «Исследование причин охрупчивания металла ЗТВ сварного соединения стали 08X18Г8Н2Т».

Исследовано влияние термоциклической обработки на изменения структуры и ударной вязкости зоны термического влияния сварного соединения стали 08X18Г8Н2Т, в результате чего установлено, что термоциклирование в интервале 700-900 °С позволяет повысить ударную вязкость ЗТВ до уровня основного металла в состоянии поставки. Использование данной стали вместо стали 12X18Н10Т в химическом машиностроении позволяет экономить до 80 кг дефицитного и дорогого никеля на 1 т проката.

Использованы современные методики механических испытаний, метало- и электронографических исследований.

Ключевые слова: ферритно-аустенитная сталь; содержание никеля; зона термического влияния; термический цикл сварки; термоциклическая обработка; ударная вязкость.

Deryabkina E., Okorokov A. "Research the causes embrittlement of the HAZ of the welded joint of steel 08H18G8N2T".

The influence of temperature cycling treatment on change of structure and toughness of the HAZ of the welded steel 08H18G8N2T compound, whereby found that thermal cycling in the range 700-900⁰S improves the HAZ toughness to the level of the base metal in a state of delivery. Use of this steel instead of steel in 12X18H10T chemical engineering saves up to 80 kg of scarce and expensive nickel 1t hire.

The use of modern techniques of mechanical testing, metal and electron diffraction studies.

Keywords: ferritic-austenitic steels; nickel content; heat-affected zone; thermal cycle of welding; thermocycling treatment; the toughness.

1. Стан питання

Створена, як заміник широко застосованих у хімічному машинобудуванні дефіцитних хромонікелевих аустенітних сталей тину 18-10 (з 10 % Ni) феритно-аустенітна сталь 08X18Г8Н2Т з низьким вмістом дефіцитного нікелю (~ 10 % Ni), має високу міцність і стійкість до міжкристалітної корозії [1]. Тепловий вплив на метал при зварюванні і гарячій обробці феритно-аустенітних сталей у процесі виготовлення устаткування викликає зміни його структури і властивостей. Повнота структурних перетворень залежить від ступеня і тривалості перегріву, тобто температури і швидкості нагрівання, швидкості охолодження зварного з'єднання.

Внаслідок росту зерна й зменшення кількості аустеніту спостерігається деяке зниження ударної в'язкості зони термічного впливу (ЗТВ); повторне тривале нагрівання перегрітих ділянок зварного з'єднання може привести до ще більшого охрупчування [2].

У ЗТВ, що нагріваються до температур вище 500 °С, спостерігається зниження корозійної стійкості зварного з'єднання. Корозійному руйнуванню піддається переважно аустенітна фаза, яка розташована у вигляді тонких прошарків між крупними зернами фериту [3].

Таким чином, забезпечення високих міцнісних і корозійних властивостей ЗТВ зварних з'єднань феритно-аустенітних сталей перебуває у прямій залежності від тепловкладення при зварюванні, що визначається способом і режимом зварювання. Основним недоліком, що перешкоджає широкому впровадженню цієї сталі, є схильність до окрихчення металу ЗТВ, що супроводжується зниженням ударної в'язкості зварного з'єднання.

2. Метою дослідження є визначення причин окрихчення металу ЗТВ зварного з'єднання сталі 08X18Г8Н2Т при термоциклічній обробці (ТЦО), що імітує термічний цикл зварювання [3].

3. Основний матеріал

Зразки розміром 12x12x60 мм зі сталі промислової виплавки (0,055 % C, 0,45 % Si, 7,01 % Mn, 18,2 % Cr, 3,25 % Ni, 0,29 % Ti, 0,03 % P, 0,03 % S) піддавали швидкісному нагріванню шляхом пропущення електричного струму в індуктор установки СВЧ. Зміни термічних циклів зварювання контролювали за допомогою потенціометру і хромельалюмелевих термопар діаметром 0,5 мм. Максимальну температуру нагрівання вибрали рівної 1300⁰С, швидкість нагрівання ~ 80 °С/с, швидкість охолодження ~ 40 °С. ТЦО проводили шляхом нагрівання і охолодження в інтервалі 500-700, 600-800 і 700-900 °С. Число циклів складало 10, швидкість нагрівання ~ 50 °С/хв, швидкість охолодженні ~ 150 °С/хвил, окрихчування металу по величині ударної в'язкості. Випробування на ударний вигин проводили на стандартних зразках за ДСТ 9454-78 при – 20 °С. Мікроструктуру виявляли електролітичним травленням у розчині хромового ангідриду з наступним фарбуванням феритної складової у реактиві Гросбека. Відсоткове співвідношення структурних складових визначали лінійним методом [4]. Електронно-фрактографічне вивчення зламів ударних зразків проводили по методу просвічування одноступінчастих вугільних екстракційних реплік у електронному мікроскопі.

Результати випробувань на ударний вигин, виміри твердості, дані по фазовому складу наведені в табл. 1. Встановлено, що ТЦО в інтервалі 500–700, 600–800 °С є неефективною,

тому що приводить не до підвищення ударної в'язкості, а навпаки, до помітного її зниження. Обробка в інтервалі 700–900 °С дозволяє в 2 рази збільшити ударну в'язкість металу ЗТВ, тобто майже до значень, характерних для основного металу у стані поставки.

Таблиця 1 – Механічні властивості і фазовий склад сталі 08Х18Г8Н2Т

Стан металу	КСU ₋₂₀ , МДж/м ²	H ₅₀ (аустеніт)	HV	Вміст, %		
				аустеніту	фериту	мартенситу
У стані поставки	0,98	244	227	60	35	5
Після ТЦО, °С:						
500-700	0,42	240	267	20	30	50
600-800	0,64	244	262	37	10	53
700-900	1,20	274	271	30	15	55

ТЦО приводить до зниження загального рівня твердості металу ЗТВ і мікротвердості аустенітної складової структури в порівнянні зі станом після зварювального нагрівання. Значення HV і мікротвердості аустеніту після термоцикування в інтервалах 500 – 700⁰С і 600 – 800⁰С більш низькі, однак це не сприяє підвищенню ударної в'язкості.

Після ТЦО в інтервалі 700 – 900 °С твердість знижується менше, а ударна в'язкість при – 20 °С зростає до 1,2 МДж/м². При вивченні мікроструктури зразків на оптичному мікроскопі встановлено, що в результаті впливу ТЦО на БШЗ зменшується загальна кількість δ - фериту, а також відбувається істотна фрагментація структури.

Відзначено, що γ – фаза виділяється не тільки по границях, але й у тілі феритних зерен. При цьому довжина полів фериту, вільного від виділень γ – фази, значно знижується. Максимального розвитку ці тенденції досягають у випадку ТЦО в інтервалі 600 – 800 °С.

Для визначення причин зміни ударної в'язкості залежно від режиму ТЦО проведено електронно – фрактографічні дослідження поверхні руйнування ударних зразків, вирізаних з металу БШЗ, імітованої на сталі 08Х18Г8Н2Т. Зразки випробовували у стані поставки і після ТЦО. У першому випадку в зламах спостерігаються ділянки з високоенергоємними параболічними ямками грузлого руйнування по обох структурних складових – аустеніту й фериту. Великі і плівкові дендрити, що часто зустрічаються, карбідів Me₂₃C₆ також ініціюють грузле ямкове руйнування, хоча й зі значно меншою енергоємністю (рис. 1, а).

Великі (порядку 10 мкм) вклучення карбонітридів титану ініціюють розшарування, які не одержують істотного розвитку. Зустрічаються ділянки руйнування по міжфазним границях, а також елементи грузлого відколу. Для фасеток транскрісталітного відколу характерний розвиток двійникової структури, хоча й зустрічаються окремі ділянки зі струмковим візерунком.

ТЦО в інтервалі 500–700 °С викликає деяке підвищення однорідності розмірів і форми ямок грузлого руйнування, а також розвиток ямкового руйнування по міжфазним границях. Ділянки грузлого руйнування мають значно меншу довжину. Двійникові язички стають менше по розмірах, а також більше однорідні; на поверхні окремих фасеток відколу з'являється шевронний візерунок (рис. 1, б). У зламі зберігаються великі карбонітриди титану, однак основна роль у формуванні ударної в'язкості належить скупченням плівкових сульфідних вклучень, що ініціюють розшарування по надлишковій фазі (рис. 1, в).

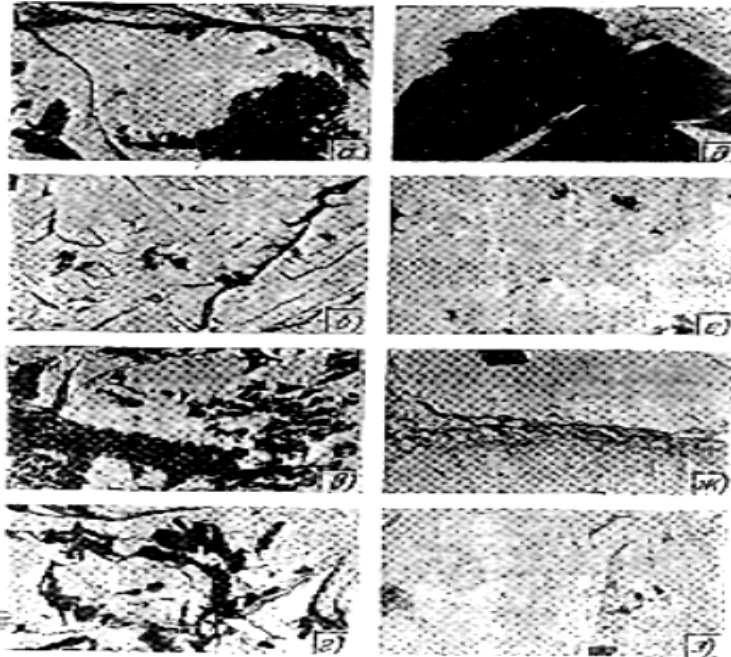


Рис. 1 – Фрактограми зламів ударних зразків БШЗ зварних з'єднань сталі 08X18Г8Н2Т, х7800

Підвищення температури ТЦО до 600–800 °С приводить до певних змін у морфології надлишкових фаз. У зламі з'являються пластинчасті включення карбонітрідів титана, що носять явні сліди деякого розчинення в ході ТЦО. Крім того, відзначається коагуляція дендритних включень карбиду Me_{23}C_6 (рис. 1, г). Протяжні ділянки плівкових виділень, що ініціюють розшарування по надлишковій фазі, не виявлені. У зламі присутній велика кількість фасеток відколу, сформованих по типі шевронного візерунка з

відносно дрібними двійниками. Ділянки струменевого візерунка не відзначені. На міжфазних границях і у фасетках відколу спостерігаються численні пластичні утягнення, які можна розглядати як свідчення фрагментації структурних складових. Дані електронної фрактографії дозволяють вважати, що характеристичний розмір фрагментів перебуває в межах 0,5–1 мкм.

При подальшому підвищенні температури ТЦО (до 700–900 °С) спостерігається розчинення карбонітрідів титана (рис. 1, д). Фрагментація матриці виражається в появі груп дрібних ямок грузлого внутрішнього руйнування в прикордонних обсягах голок γ' – фази (рис. 1, е, ж). На фасетках відколу виявляються ділянки, що містять гребені пластичної деформації і ямки (рис. 1, з); їхня морфологія свідчить про зміну мікромеханізму руйнування.

Висновки

Досліджено вплив ТЦО на охрупчування ЗТВ сталі 08X18Г8Н2Т, яке оцінювали по величині ударної в'язкості. Результати досліджень показали:

- зниження ударної в'язкості після ТЦО в інтервалі 500–700 °С викликано утворенням дисперсних надлишкових фаз плівкової морфології, що різко знижують енергоємність грузлого руйнування;
- зниження кількості цих виділень (в основному, інтенсивно, що розвивається фрагментація, феритної матриці) при обробці в інтервалі 600 – 800 °С дозволяє підняти рівень ударної в'язкості майже до вихідних значень після імітації зварювального нагрівання;
- підвищення ударної в'язкості при ТЦО по режиму 700–900 °С до значень, що відповідають основному металу, пов'язане у стані поставки з коагуляцією включень надлишкових фаз і подальшим розвитком фрагментації.

Підвищення ударної в'язкості металу ЗТВ в інтервалі 700–900 °С зв'язано не тільки зі значним зменшенням кількості δ – феритної складової у структурі, але й з коагуляцією включень надлишкових фаз, посиленням розвитку фрагментації феритної матриці, що в цілому збільшує енергоємність руйнування структури. Гарантуємі значення ударної в'язкості металу ЗТВ сталі 08X18Г8Н2Т можуть бути уточнені безпосередньо при випробуванні зварних з'єднань.

Список використаних джерел:

1. Замена хромоникелевых сталей новыми марками с пониженным содержанием никеля в химическом машиностроении: (Отчет по теме № 81-27). – М. : Ниихиммаш, 1997. – 165 с.
2. Исследование низконикелевых нержавеющей сталей с целью применения их для конструкций химического машиностроения по профилю предприятия: (Отчет по теме №25-37). – Харьков: УкрНИИхиммаш, 1999. – 317с.
3. Кошелев Н. Н. Методика имитации термических циклов с помощью установки токов высокой частоты / Н. Н. Кошелев, В. В. Антонов // Сварка с регулированием термических циклов конструкций нефтяной и газовой промышленности :Труды МИНХ и ГП им. И.М. Губкина. – 2000. – Вып. 151. – С. 5–10.
4. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография / С. А. Салтыков. – М. : Металлургия, 1997. – 376 с.

References

1. NIikhimmash 1997, *Zamena khromonikelevykh staley novymi markami s ponizhennym sodержaniem nikelya v khimicheskoy mashinostroyeni, Otchet po teme № 81-27*, NIikhimmash, Moskva.
2. UkrNIikhimmash 1999, *Issledovanie nizkonikelevykh nerzhaveyushchikh staley s tselyu primeneniya ikh dlya konstruktiv khimicheskogo mashinostroyeniya po profilyu predpriyatiya*, Otchet po teme №25-37, UkrNIikhimmash, Kharkiv.
3. Koshelev, N & Antonov, V 2000, 'Metodika imitatsii termicheskikh tsiklov s pomoshchyu ustanovki tokov vysokoy chastoty', *Svarka s regulirovaniem termicheskikh tsiklov konstruktiv neftyanoy i gazovoy promyshlennosti. Trudy MINKh i GP im. I.M. Gubkina*, no. 151, pp. 5-10.
4. Saltykov, S 1997, *Stereometricheskaya metallografiya*, Metallurgiya, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 3 листопада 2014 р.