

рівнів площини поверхневого шару в залежності від глибини проникнення іонів для різних часів їх взаємодії та при різних щільностях струму від $2,7 \cdot 10^6$ до $2,1 \cdot 10^8$ А/м².

УДК 621.79:669.15

Берднікова О.М., докт. техн. наук
Кушнарєва О.С., канд. техн. наук
Алексєнко Т.О., канд. техн. наук
Газнюк Ю.С., заст. зав. відділом

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, ombberdnikova@gmail.com

Гурнік О.О., викладач

Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інженерії та зв'язку НАУ»,
м. Київ, olga.gurnick@gmail.com

ВПЛИВ СИСТЕМ ЛЕГУВАННЯ ЗВАРНИХ ШВІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В оборонній промисловості при виготовленні відповідальних зварних вузлів і корпусів колісної броньової техніки використовують високоміцні сталі спеціального призначення (броньові). В значній мірі властивості зварних з'єднань таких сталей залежать від того, які структури утворюються в металі швів та зони термічного впливу (ЗТВ). Суттєво на це впливають режими зварювання, у тому числі системи легування зварних швів в залежності від типу присадкових дротів, що використовуються. Актуальною проблемою при зварюванні броньових сталей є забезпечення експлуатаційної надійності зварних з'єднань, а саме необхідного рівня механічних властивостей та тріщиностійкості металу.

Метою роботи було вивчення закономірностей структурно-фазових перетворень та параметрів структури зварного з'єднання броньової сталі марки 92 (0,3% С; 0,045% Si; 0,8% Mn; 2,2% Cr; 2,03% Ni; 0,06% Cu; 0,72% Mo; 0,2% V; 0,019% P; 0,008% S) при використанні зварювальних дротів ферито-перлітного (Св-08Г2С) та аустенітного типів (Св-08Х20Н10Т). Зварювання проводили без попереднього підігріву в середовищі захисних газів Ar+CO₂ на режимах I_{св}=180...210 А; U_д=28...32 В; V_{св}=15...18 м/ч. Робота проводилась з використанням комплексу методів досліджень: світлової мікроскопії (Versamet-2, Neophot-32), аналітичної растрової мікроскопії (СЭМ515, фірми «PHILIPS», Нідерланди) та просвічувальної електронної мікроскопії (JEM-200СХ, фірма JEOL, Японія).

Структура металу шва у зварному з'єднанні спеціальної сталі 92 із використанням Св-08Г2С бейнітно-феритна (Б-Ф) із шириною кристалітів h_{кр} = 7...40 мкм та феритними прошарками h(Ф_{пр}) = 15 мкм. Мікротвердість Б-Ф структури у центрі шва складає HV_{0,1} = 2540...2640 МПа. У ЗТВ формується бейнітно-мартенситна (Б-М) структура зі зменшенням розмірів пакетів від D_п = 20...50 мкм до D_п = 7...25 мкм при переході від в ділянки перегріву (I ділянка ЗТВ) в ділянку рекристалізації (IV ділянці ЗТВ). Також відбувається зниження мікротвердості (HV) від 3830...5140 МПа до 2850...3830 МПа.

Структура металу шва зварного з'єднання з Св-08Х20Н9Г7Т має аустенітну структуру з розміром зерна D_з = 10...35 мкм і HV = 2380...2410 МПа. Як і в попередньому випадку при переході від ЗТВ до основного металу зменшується розмір пакетів від D_п = 15...55 мкм (I ділянка) до D_п = 10...25 мкм (IV ділянка) та, відповідно, змінюється HV від 3830...5140 МПа до 2850...3660 МПа.

Фрактографічними дослідженнями характеру руйнування металу зварних з'єднань сталі 92 встановлено, що при використанні Св-08Г2С після випробувань на уповільнене руйнування при навантаженні P = 150 кг (час навантаження t=10 хв.) характер руйнування переважно міжзеренний - крихкий відкол (80%). Також присутні одиничні ділянки в'язкої складової (до 20%). Після випробувань на уповільнене руйнування при P = 250 кг (t=10 хв.)

в ділянці прискороного розвитку тріщини характер руйнування змішаний: міжзеренне, внутрішньозеренне квазікрихке та в'язке руйнування (50%).

При використанні Св-08Х20Н9Г7Т в зварному з'єднанні після випробувань на уповільнене руйнування при навантаженні $P = 350$ кг ($t=10$ хв.) характер руйнування змішаний: з ділянками локальних ділянок в'язкого (45...50%) та дисперсного внутрішньозеренного квазікрихкого (20...25%).

Дослідженнями тонкої структури металу зварного з'єднання броньової сталі марки 92 при використанні св-08Г2С встановлено, що в металі шва формується структура з відносно невеликими градієнтами щодо параметрів субструктури та щільності дислокацій. В металі шва для фериту (Ф) $h \times lc = 0,2...0,8 \times 0,7...1,8$ мкм, для бейніту нижнього (Бн) $0,39...1,07 \times 0,46...1,22$ мкм та для бейніту верхнього (Бв) $0,2...0,58 \times 0,6...0,65$ мкм з $\rho = 4 \times 10^9...10^{10} \text{ см}^{-2}$. В І ділянці ЗТВ субструктура для Бн, Бв та відпущеного мартенситу (Мвід) складає Бн - $h \times lc = 0,13...0,73 \times 0,19...0,96$ мкм, Бв - $h \times lc = 0,34...0,85 \times 0,68...1$ мкм та Мвід - $h \times lc = 0,19...0,66 \times 0,57...2,32$ мкм, спостерігається підвищення щільності дислокацій до $\rho = 4 \times 10^{10}...9,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

При використанні Св-08Х20Н9Г7ТВ виявлено, що в металі зварного шву формується аустенітна структура з субструктурою з розмірами $dc = 0,2...0,82$ мкм та $\rho = 10^9...8 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$. В І ділянці ЗТВ формується субструктура Бн при $h \times lc = 0,1...0,65 \times 0,2...1,4$ мкм, Бв - $h \times lc = 0,23...0,8 \times 0,7...1,19$ мкм та Мвід - $h \times lc = 0,2...0,7 \times 0,6...2$ мкм з відносно невеликими градієнтами щодо щільності дислокацій ($\rho = 4 \times 10^{10}...9,3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$).

На базі експериментальних досліджень зварних з'єднань броньової сталі марки 92 при використанні різних типів зварювальних присадкових дротів (Св-08Г2С та Св-08Х20Н10Т), проведено аналітичні оцінки зміни показника зміцнення ($\Sigma\sigma_T$) металу І ЗТВ (ділянка перегріву) з урахуванням внеску кожного із структурних параметрів.

Встановлено, що в металі І ЗТВ при використанні Св-08Г2С $\Sigma\sigma_T = 1240$ МПа найбільший внесок в метал шва вносять: твердорозчинне ($\Delta\sigma_{т.р.} = 285$ МПа), субструктурне ($\Delta\sigma_C = 311$ МПа) та дислокаційне зміцнення ($\Delta\sigma_D = 272$ МПа), (рис. 1).

В металі І ЗТВ зварного з'єднання сталі 92 при використанні Св-08Х20Н10Т середнє розрахункове значення зміцнення становить $\Sigma\sigma_T = 1282$ МПа. Основний внесок у $\Sigma\sigma_T$

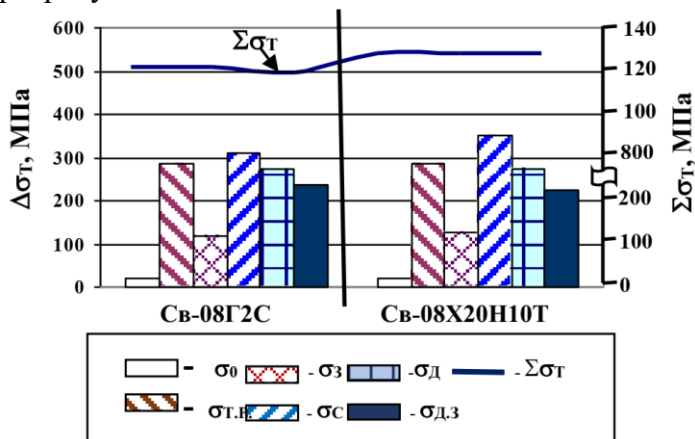


Рис. 1 – Диференційний внесок окремих структурних параметрів: розміру зерен, субзерен, карбідних фаз, щільності дислокацій в зміцнення ($\Sigma\sigma_T$) металу зварних з'єднань сталі 92 з дротом Св-08Г2С та Св-08Х20Н10Т

вносять: зміцнення за рахунок твердого розчину ($\Delta\sigma_{т.р.} = 285$ МПа), субструктурне ($\Delta\sigma_C = 352$ МПа) та дислокаційне зміцнення ($\Delta\sigma_D = 272$ МПа), (рис. 1).

Слід відмітити, що у зварних з'єднаннях спеціальної броньової сталі 92 при використанні присадкових дротів ферито-перлітного (Св-08Г2С) та аустенітного типів (Св-08Х20Н10Т), найбільші показники структурного зміцнення металу ЗТВ забезпечують структурні складові бейніту нижнього та мартенситу відпуску.