3. Herasymchuk O. M. and Kononuchenko O. V. Peculiarities of short fatigue cracks growth from a blind hole in specimens made of steel 45. Part 1. Experimental results // Strength of Materials. – 2021. - №53. – P. 213–221.

4. Tsybanyov, G.V. French Line Prediction for Steels Using Experimental Data to Construct a Fatigue Curve. Part 2. Method Verification and Estimation of Calculation Errors / G.V. Tsybanyov // Strength of Materials. – 2023. - №55. – P. 713–719.

5. Kirsch, E.G. Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre / Kirsch, E.G. // Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. - 1898. - Vol. 42. - C. 797-807.

УДК 621.79:669.15

Кушнарьова О.С., канд. техн. наук
Берднікова О.М., докт. техн. наук
Григоренко С.Г., канд. техн. наук
Алексеєнко І.І. молод. наук. спів.
Кушнарьова Т.М., наук. спів.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, olgakus@meta.ua

ВПЛИВ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СТРУКТУРНІ ПАРАМЕТРИ ТА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

На сьогоднішній день при виготовлені відповідальних зварних вузлів металоконструкцій та броньової техніки в оборонній промисловості, які працюють в складних умовах експлуатації використовують високоміцні сталі. Слід відмітити, що більшість зварних з'єднань в конструкціях легкої броньової техніки при експлуатації піддають впливу циклічних навантажень. При циклічному навантаженні в матеріалах відбуваються втомні процеси, які можуть призвести до накопичення мікроушкоджень, зниження характеристик міцності, утворення мікротріщин, тріщин втоми та, відповідно до руйнування конструкцій. Тому особливе значення набувають дослідження впливу структурних факторів на тріщиностійкість металу з'єднань сталей спеціального призначення. Актуальними завданнями є дослідження на всіх структурних рівнях особливостей структуро-фазових перетворень, параметрів зеренної, субзеренної та дислокаційної структури металу зварних з'єднань цих сталей під впливом циклічних навантажень.

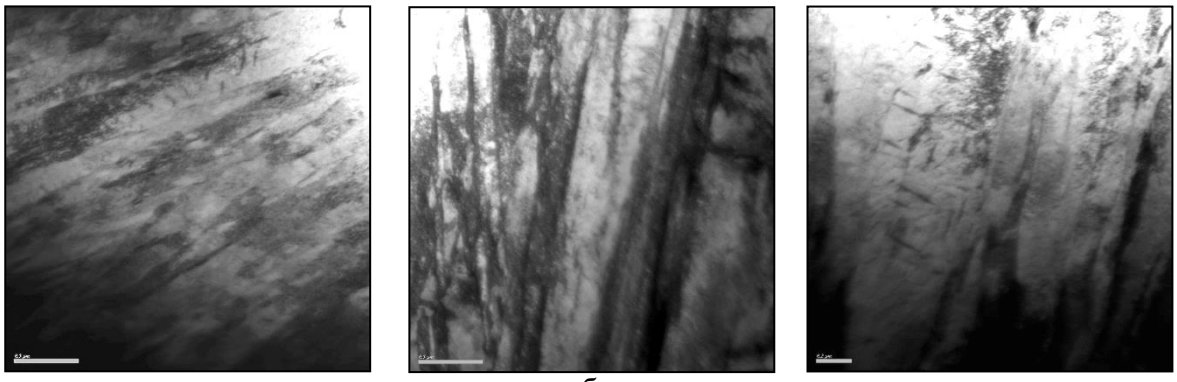
Метою роботи було вивчення закономірностей структурно-фазового складу та параметрів структури зварних з'єднань броньової сталі Armox 500 при використанні зварювального дроту аустенітного типів (Св-08Х20Н10Т) після зварювання та експлуатаційних навантажень. Зварювання проводили без попереднього підігріву в середовищі захисних газів Ar+CO_2 на режимі Ізв=180А; Uд=25…26В; Vзв=18м/год. Виконано циклічне навантаження зварних з'єднань при σ=60МПа з кількістю циклів Nц=1080000, Nц=1450000, Nц=1800000. 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-200CX, фірми JEOL, Японія).

Методами світової мікроскопії встановлено, що у металі швів зварних з'єднань броньової сталі Armox 500 формується аустенітна структура з розміром зерен Dз=20...90мкм та мікротвердістю HV=1700…2450МПа. Після експлуатаційних навантажень в порівнянні з металом шва в зварному з'єднанні безпосередньо після зварювання (у вихідному стані) розмір зерен зменшується в середньому у 1,3, 1,5 та 1,6 разів при підвищенні HV на 10% та 20% відповідно при Nц=1080000, 1450000, 1800000. В зоні термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань у вихідному стані формується мартенситно-бейнітна структура при Dз=80...200мкм, HV=4010…4640МПа (ділянка перегріву) та

Dз=25...65мкм, HV=4640…5140МПа (ділянка повної перекристалізації). При збільшені циклів навантаження характерно підвищення мікротвердості металу ЗТВ на 20% за рахунок рівномірного подрібнення пакетної мартенситно-бейнитної структури у 1,25, 1,5, 1,6 разів, відповідно при Nц=1080000, 1450000, 1800000, при наближені до основного металу.

Дослідженнями тонкої структури виявлено, що в металі шва зварного з'єднання броньової сталі Armox 500 після експлуатаційного навантаження (σ=60МПа) при збільшені кількості циклів (Nц=1080000; 1450000) щільність дислокацій (ρ) в структурі рівномірно підвищується у 1,4…1,5 рази в порівнянні з вихідним станом і складає $\rho=3\ldots7\times10^{9}$см$^{-2}$ та $\rho=3{,}5\ldots7{,}8\times10^{9}$см$^{-2}$, відповідно до кількості циклів. В ЗТВ також відсутні різкі градієнти по цільності дислокацій. В порівнянні з вихідним станом спостерігається підвищення ρ в середньому у 1,17…1,2 рази до $\rho=5\times10^{10}\ldots10^{11}$см$^{-2}$ (Nц=1080000) та $\rho=5{,}5\times10^{10}\ldots1{,}2\times10^{11}$см$^{-2}$ (Nц=1450000) при подрібненні субструктури у 1,15…1,2 рази (для Nц=108000 dc (Бн)=0,17…1,3мкм, dc (Бв)=0,15…1,2мкм, dc (Мвід)=0,25…1,6мкм та дя Nц=1450000 dc (Бн)=0,15…1,12мкм, dc (Бв)=0,12…1,0мкм, dc (Мвід)=0,2…1,45мкм). Слід відмітити, що формування субструктурних складових при відсутності градієнтів щільності дислокацій забеспечує тріщиностійкість, а також зміцнення металу шва та ЗТВ при відповідних кількостях циклів.

В металі зварного з'єднання після експлуатаційного навантаження при Nц=1800000 спостерігаються градієнти щільності дислокацій, що знижує рівень тріщиностійкості і сприяє можливості утворювання мікротріщин. В металі шву аустенітна структура подрібнюється у 1,5 рази в порівнянні з вихідним станом до dc=0,12…0,6мкм, а щільність дислокацій підвищується у 4 рази до $\rho=5\times10^{9}\ldots2\times10^{10}$см$^{-2}$ при нерівномірному її розподіленні. В ЗТВ субструктура у 1,5 рази меньша в порівнянні з вихідним станом: dc (Бн)=0,1…0,95мкм, dc (Бв)=0,1…0,86мкм, dc (Мвід)=0,15…1,25мкм. Щільність дислокацій для цих структурних складових підвищується у 2,3 рази до $\rho=4\times10^{10}\ldots2\times10^{11}$см$^{-2}$, з різкими градієнтами її розподілення між об'ємом та границею зерен, рис. 1.



а б в

Рис. 1. – Тонка структура металу ЗТВ зварного з'єднання броньової сталі Armox 500 з дротом Св-08Х20Н9Г7Т зварювання та навантаження (σ=60МПа Nц=1800000): а – бейніт нижній (×25000); в – бейніт верхній (×35000); д – мартенсит відпуску (×35000).

Таким чином, встановлено, що в металі зварного з'єднання броньової сталі Armox 500 після експлуатаційного навантаження (σ=60МПа) при збільшені кількості циклів (Nц=1080000; 1450000) в металі шва та ЗТВ спостерігаються відносно невеликі градієнти щодо щільності дислокацій та формування субструктурних складових. Це буде забезпечувати тріщиностійкість, а також зміцнення металу швів та ЗТВ. При Nц=1800000 в металі зварних з'єднань спостерігаються градієнти розподілення щільності дислокацій, що знижує рівень тріщиностійкості і сприяє можливості утворювання мікротріщин.