

УДК 621.791.

В. Д. Кузнецов¹
І. В. Смирнов¹
К. П. Шаповалов²

ВПЛИВ НАНООКСИДІВ АЛЮМІНІЮ НА РОЗПОДІЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ І СТРУКТУРУ МЕТАЛУ ШВА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»

Розглянуто особливості розподілення за розмірами та складом неметалевих включень у металі швів у разі введення у зварювальну ванну наноксидів алюмінію. Встановлено, що неметалеві оксидні включення розміром до 0,3 мкм можуть слугувати центрами зародження голкових форм фериту і визначати умови формування мікроструктури зварних швів.

Ключові слова: зварний шов, зварювальна ванна, наноксиди, мікроструктура.

Вступ

В останні роки загальна тенденція в розвитку виробництва високоміцних сталей для зварних конструкцій зводиться до одержання металу з найбільш здрібною структурою за мінімального легування. Одним з основних структурних елементів, що формує будову залізобуглецевих сплавів є нанорозмірні складові, введення яких у незначних кількостях дозволяє суттєво впливати на структуроутворення і механічні властивості металу зварного шва з формуванням, зокрема, структури голчастого фериту (ГФ). Основним фактором, що визначає гетерогенне зародження такої структури є розміри, склад та розподілення неметалевих включень [1].

Таким чином, підвищення фізико-механічних характеристик зварних швів потребує утворення в їх структурі неметалевих включень прогнозованих за об'ємною частиною, складом і розмірами.

Мета роботи полягає у визначенні особливостей розподілу та впливу неметалевих включень на структуру металу шва високоміцних низьколегованих сталей з використанням нанорозмірних оксидів алюмінію.

Дослідження проводили на сталі 10Г2ФБ, яка має підвищену структурну неоднорідність, що зумовлює зниження показників фізико-механічних і службових характеристик зварних з'єднань нижче технічного рівня, потенційно закладеного цим хімічним складом. Для зварювання використовували дріт марки 10ХГН2СМФТЮ, базова система легування якого сприяє підвищенню стійкості аустеніту і розширенню температурного інтервалу формування бейніту.

В якості нанокomпонентів застосовували нанорозмірний порошок оксиду алюмінію (Al_2O_3). Як показали попередні дослідження, у разі змін об'ємної частки нанопорошку Al_2O_3 від 0,5 % до 4,5 % найефективніше впливає на структуроутворення введення його у зварювальну ванну у об'ємній частці 0,5 %. Основною ознакою такої структури є висока ступінь подрібнення та дисперсність структурних складових [2].

Введення нанокomпонентів у зварювальну ванну проводили за технологічною схемою, яка передбачала закладку присадкового матеріалу з нанопорошком у розділку крайок.

Основна частина

Комплексний аналіз включень (морфологія, дисперсність, склад) показав, що вплив неметалевих включень на структуру металу швів залежить не тільки від їх хімічного складу, але також від їх розмірів і щільності розподілу в металевій матриці.

Комп'ютерна обробка результатів розподілу неметалевих включень за розміром і складом дозволила виділити із загального масиву даних три основні групи за цими ознаками: включення роз-

мірами до 0,3 мкм, від 0,3 до 0,8 мкм та більше 0,8 мкм.

Обробка даних за показником діаметра рівнозначного кола показала, що у вихідному стані без додавання нанопорошку оксиду частка включень розміром до 0,3 мкм становить 22 %, максимальна частка 10,2 % відповідає включенням з розмірами в діапазоні 0,31—0,37 (рис. 1а). З додаванням нанопорошку оксиду Al_2O_3 в кількості 0,5 об. % частка включень розміром до 0,3 мкм зростає до 29 %, а максимальна частка включень з розмірами в діапазоні 0,31—0,43 мкм збільшується до 12 %. При цьому спостерігається значне зменшення об'ємної частки включень з розмірами більше 0,8 мкм. (рис. 1б).

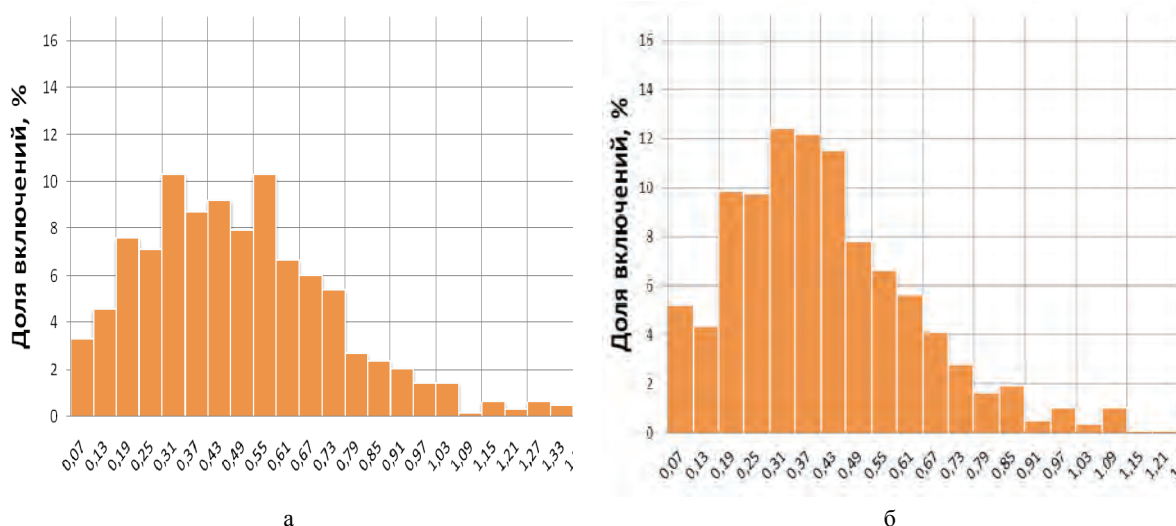


Рис. 1. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівнозначного кола: а — у вихідному стані; б — з нанопорошком Al_2O_3 у кількості 0,5 об. %

Проведені дослідження показали, що у вихідному стані включення розміром до 0,3 мкм частіше за все містять окремі сполуки алюмінію або титану і кремнію. Іноді такі сполуки знаходяться в одному включенні. У включеннях розміром від 0,3 до 0,8 мкм основну масу складають сполуки алюмінію і титану, можлива також незначна кількість сполук марганцю і кремнію, зустрічаються сполуки сірки. Включення розміром вище 0,8 мкм складаються зі сполук алюмінію, титану, марганцю, кремнію і сірки. При цьому сумарний вміст марганцю і кремнію може перевищувати 50 % від загальної маси включення.

Склад неметалевих включень та характер їх розподілу суттєво змінюється з введенням нанопорошку оксиду алюмінію, про що свідчать потрійні діаграми (рис. 2, 3).

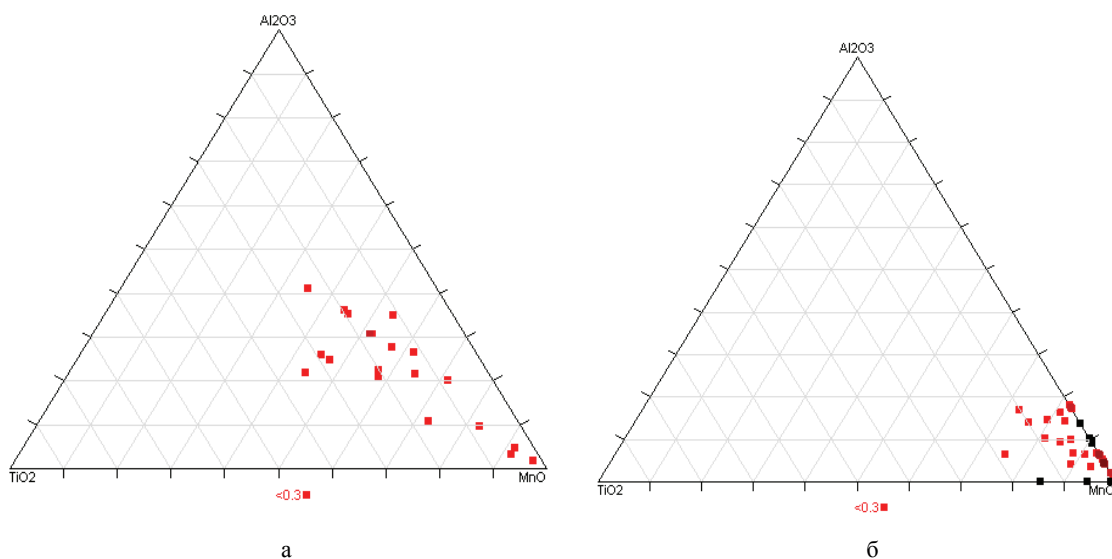


Рис. 2. Потрійні діаграми складу неметалевих включень в металі шва розміром до 0,3 мкм: а — без нанодобавки; б — з нанопорошком Al_2O_3 у кількості 0,5 об. %

З рис. 2 видно, що внаслідок введення нанопорошку Al_2O_3 у кількості 0,5 об. %. відбувається зосередження складу неметалевих включень з розміром до 0,3 мкм зі збільшенням концентрації у бік оксиду марганцю і оксиду алюмінію. У включеннях в діапазоні 0,3—0,8 мкм відбувається повільніша зміна співвідношення оксидів в бік оксидів алюмінію та марганцю.

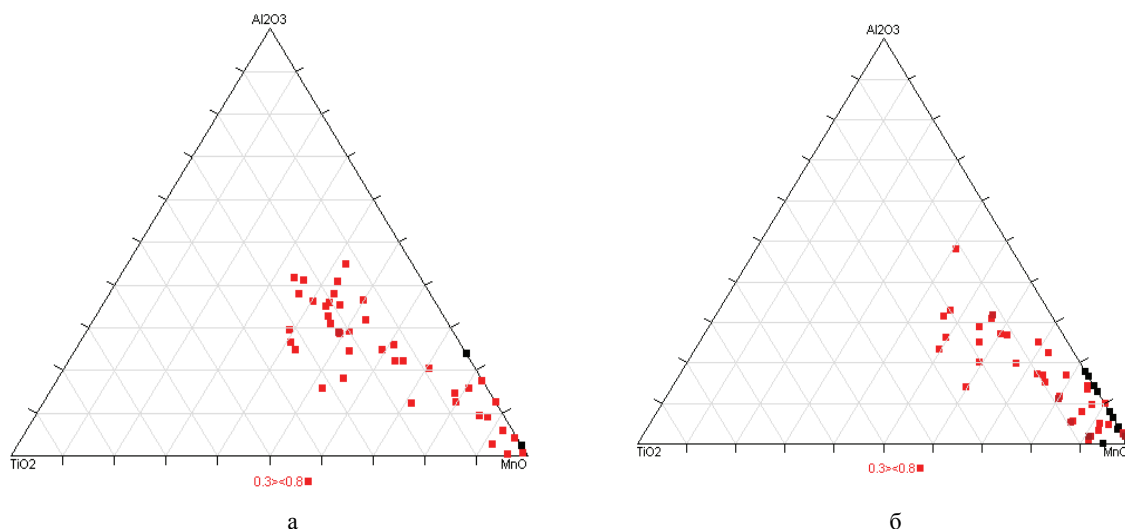


Рис. 3. Потрійні діаграми складу неметалевих включень в металі шва розміром від 0,3 до 0,8 мкм: а — без нанодобавки; б — з наночастинками порошку Al_2O_3 у кількості 0,5 об. %

За результатами металографічного аналізу встановлено, що найпоширенішими структурами металу швів є блоковий ферит, пластинчатий ферит, внутрішньозерений голчастий та полігональний ферит, ферит Відманштетта, верхній і нижній бейніт.

Вихідна структура зварних швів характеризується підвищеним вмістом крихких складових (блочний ферит, ферит Відманштетта, верхній бейніт) формуванням голчастого фериту с високим коефіцієнтом форми. (рис. 4.). Шви з такою структурою характеризуються низьким рівнем в'язкості і пластичності метала. Значення мікротвердості структурних складових змінюються від HV 231 до HV 253.

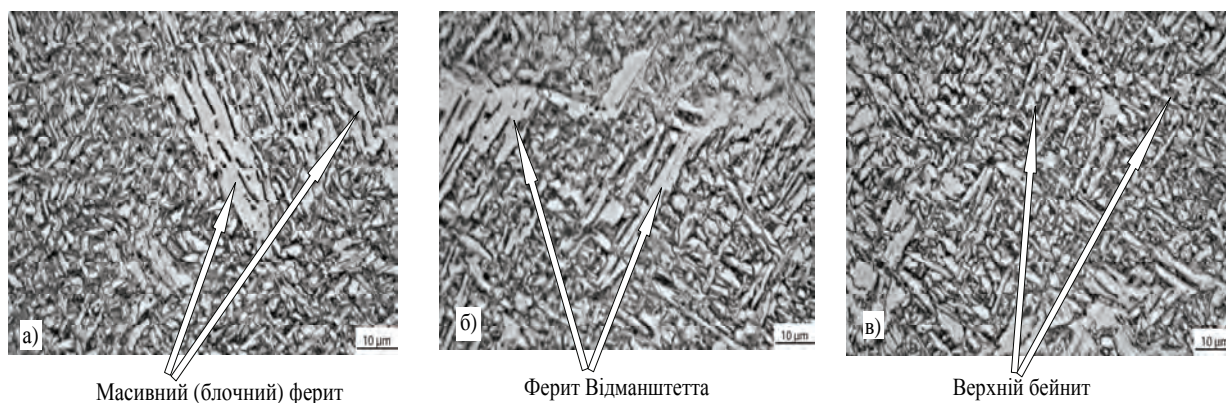


Рис. 4. Характерні структури металу шва без додавання наноконпонентів (стрілками вказано: а — масивний (блочний) ферит; б — ферит Відманштетта; в — верхній бейніт)

Структура метала шва з нанопорошком Al_2O_3 у кількості 0,5 об. % (рис. 5) за наявності крихких складових (блочний ферит, ферит Відманштетта, верхній бейніт) характеризується формуванням голчастого фериту с сприятливішим коефіцієнтом форми і, відповідно, вищими значеннями показників в'язкості і пластичності, про що свідчать виміри мікротвердості структурних складових, які змінюються від HV 223 до HV 232.

Таким чином, проведені дослідження показали, що введення у зварювальну ванну наноксидів алюмінію забезпечує позитивні структурні зміни з погляду формування в'язких морфологічних форм фериту завдяки значній присутності включень у розмірному діапазоні до 0,3 мкм.

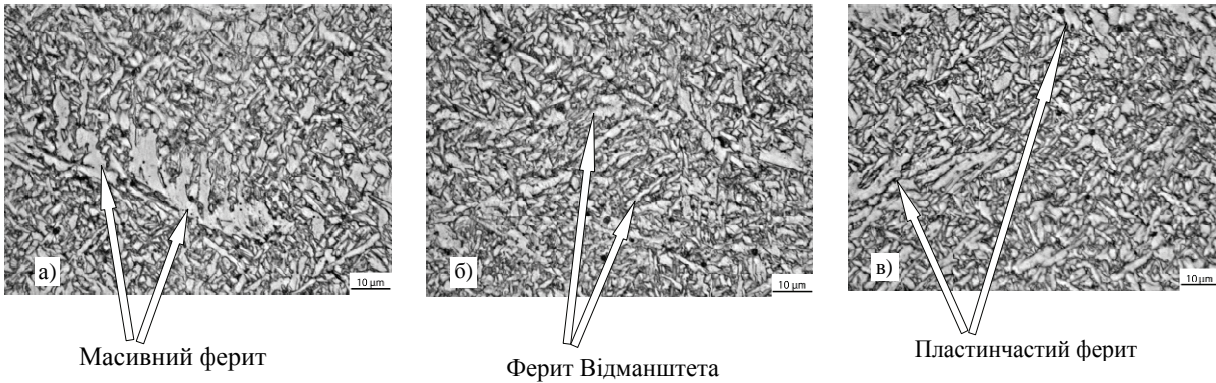


Рис. 5. Характерні структури металу шва з додаванням наноксиду Al_2O_3 у кількості 0,5 об. % (стрілками вказано: а — масивний (блочний) ферит; б — ферит Відманштета; в — пластинчастий ферит)

Висновки

Встановлено, що введення у ванну під час зварювання низьколегованої високоміцної сталі наночастинок порошку оксиду алюмінію суттєво змінює морфологічні форми фериту у бік утворення більш в'язких структурних складових. Показано, що утворення таких структур пов'язано з більшою масовою часткою неметалевих включень у металі шва, зокрема, у розмірному діапазоні до 0,3 мкм, які можуть слугувати центрами зародження голкових форм фериту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження впливу нанорозмірних карбідів титану на формування мікроструктури та властивостей зварного шва / [І. К. Походня, В. В. Головка, С. М. Степанюк, Д. Ю. Єрмоленко] // ФХММ. — 2012. — № 6. — С. 68—75.
2. Вплив модифікування наночастинами оксидів на структуроутворення зварних швів низьколегованих сталей / [В. Д. Кузнецов, І. В. Смирнов, Д. В. Степанов, К. П. Шаповалов] // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. — 2013. — Випуск № 41, Ч. 2. — С. 61—68.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 28.10.2013

Кузнецов Валерій Дмитрович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри, **Смирнов Ігор Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, професор кафедри, e-mail: smirnovkpi@gmail.com.

Кафедра інженерії поверхні, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ;

Шаповалов Костянтин Петрович — заступник головного інженера з нової техніки та науково-дослідних робіт Публічного акціонерного товариства «Новокраматорський машинобудівний завод», Краматорськ.

V. D. Kuznetsov¹
I. V. Smyrnov¹
K. P. Shapovalov²

INFLUENCE OF ALUMINUM NANOOXIDES ON DISTRIBUTION NONMETAL INCLUSIONS AND STRUCTURE OF WELD METAL LOW ALLOYED STEELS

¹National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute"

²Public Joint Stock Company "Novokramatorskyi machine building plant"

The peculiarities of distribution of the size and composition of non-metallic inclusions in weld metal after adding into weld pool nanooxides of aluminum are described. It is defined that the inclusion of non-metallic oxide up to 0,3 μm can serve as centers of incipience of needle ferrite shapes and determine the conditions of formation of the microstructure of welds.

Keywords: weld, the weld pool, nanooxides, microstructure.

Kuznetsov Valerii D. — Dr. Sc. (Eng), Professor, Head of the Chair, **Smirnov Igor V.** — Dr. Sc. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Chair, e-mail: smirnovkpi@gmail.com.

The Chair of Surface Engineering;

Shapovalov Konstantyn P. — Vice-Chief Engineer from Research Work and New Technique

В. Д. Кузнецов¹
И. В. Смирнов¹
К. П. Шаповалов²

ВЛИЯНИЕ НАНООКСИДОВ АЛЮМИНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И СТРУКТУРУ МЕТАЛА ШВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

²ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод»

Рассмотрены особенности распределения по размерам и составу неметаллических включений в металле швов при введении в сварочную ванну наноксидов алюминия. Установлено, что неметаллические оксидные включения размером до 0,3 мкм могут служить центрами зарождения игольчатых форм феррита и определять условия формирования микроструктуры сварных швов.

Ключевые слова: сварной шов, сварочная ванна, наноксиды, микроструктура.

Кузнецов Валерий Дмитриевич — д-р тех. наук, профессор, заведующий кафедрой, **Смирнов Игорь Владимирович** — д-р тех. наук, доцент, профессор, e-mail: smirnovkpi@gmail.com.

Кафедра инженерии поверхности;

Шаповалов Константин Петрович — заместитель главного инженера по новой технике и научно-исследовательским работам