

УДК 621.791.

**В. Д. Кузнецов<sup>1</sup>**  
**І. В. Смирнов<sup>1</sup>**  
**К. П. Шаповалов<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup>ПАТ «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 наноконцентів 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 наноконцентів 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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).

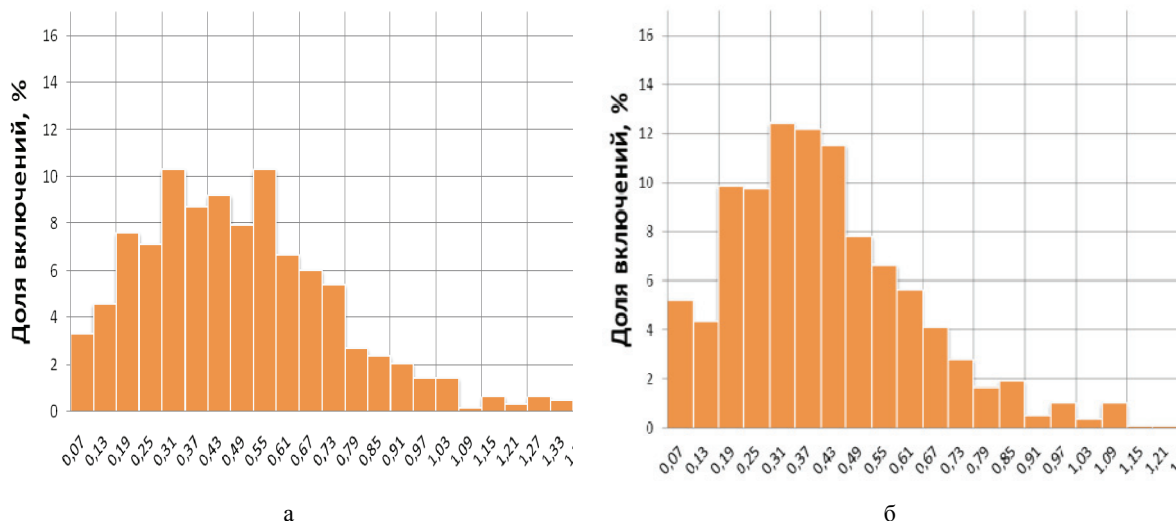


Рис. 1. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівнозначного кола: а — у вихідному стані; б — з нанопорошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у кількості 0,5 об. %

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).

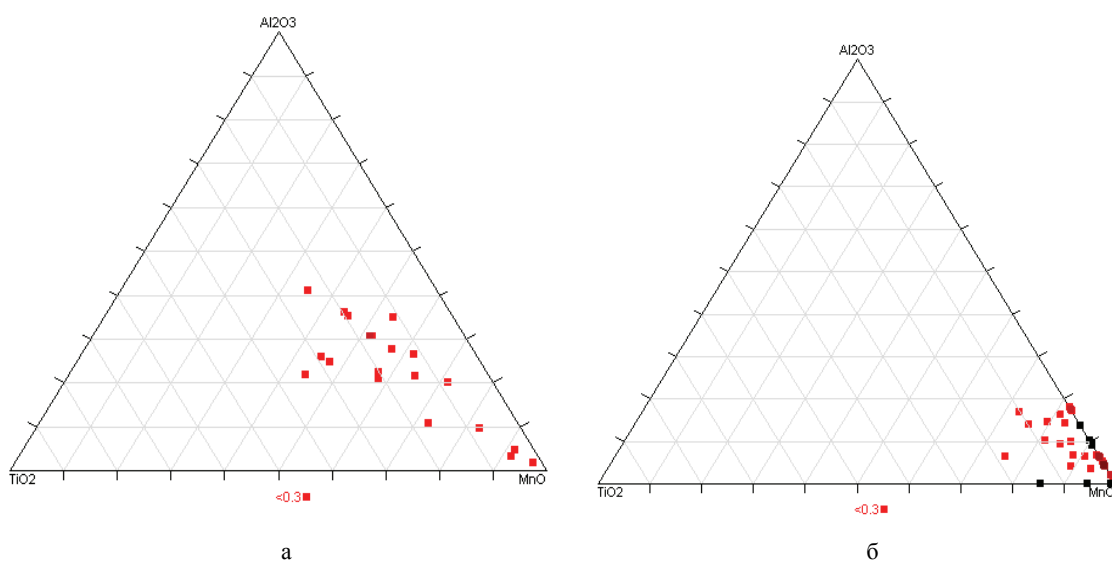


Рис. 2. Потрійні діаграми складу неметалевих включень в металі шва розміром до 0,3 мкм: а — без нанодобавки; б — з нанопорошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у кількості 0,5 об. %

З рис. 2 видно, що внаслідок введення нанопорошку  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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.

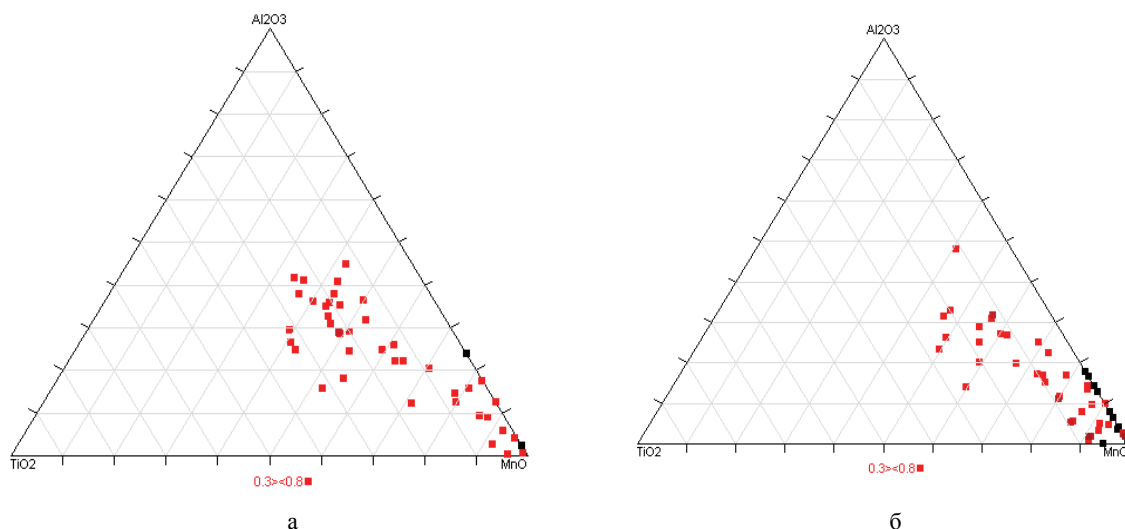


Рис. 3. Потрійні діаграми складу неметалевих включень в металі шва розміром від 0,3 до 0,8 мкм: а — без нанодобавки; б — з наночастинками порошку  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у кількості 0,5 об. %

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.

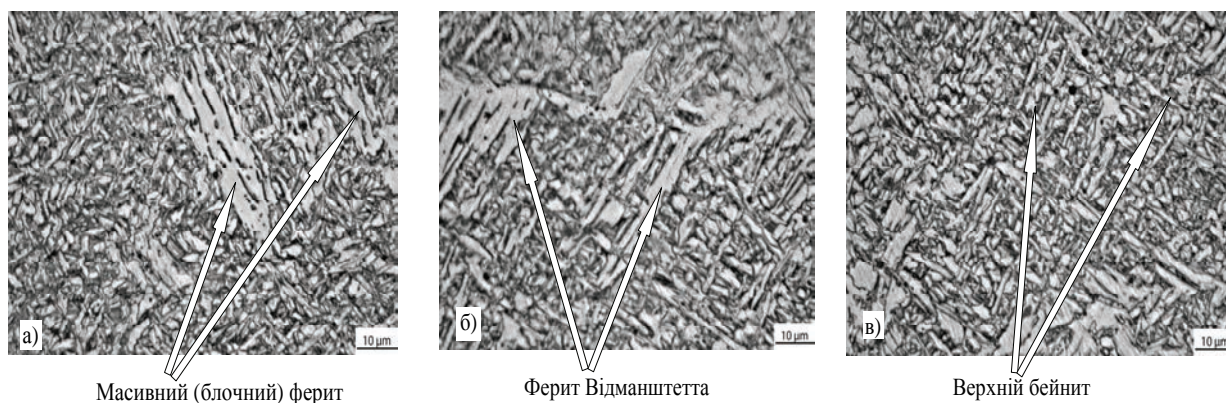


Рис. 4. Характерні структури металу шва без додавання наноконпонентів (стрілками вказано: а — масивний (блочний) ферит; б — ферит Відманштетта; в — верхній бейніт)

Структура метала шва з нанопорошком  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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.

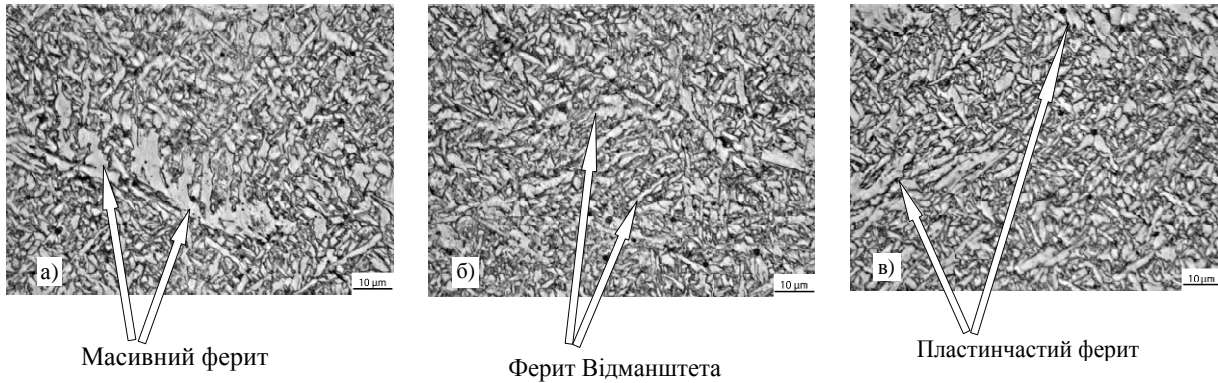


Рис. 5. Характерні структури металу шва з додаванням наноксиду  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у кількості 0,5 об. % (стрілками вказано: а — масивний (блочний) ферит; б — ферит Відманштета; в — пластинчастий ферит)

### 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. Kuznetsov<sup>1</sup>**  
**I. V. Smyrnov<sup>1</sup>**  
**K. P. Shapovalov<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute"

<sup>2</sup>Public 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  $\mu\text{m}$  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. Кузнецов<sup>1</sup>**  
**И. В. Смирнов<sup>1</sup>**  
**К. П. Шаповалов<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

<sup>2</sup>ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод»

*Рассмотрены особенности распределения по размерам и составу неметаллических включений в металле швов при введении в сварочную ванну nanooxides 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, nanooxides, 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