УДК 669.018.28:620

Захарова Н.П., канд. фіз-мат. наук, с.н.с.
Єфімов М.О., канд. фіз-мат. наук, с.н.с.
Мельник В.Х., наук. сп.
Купрін В.В., наук. сп.
Гончарук В.А., канд. фіз-мат. наук
Музика О.О., мол. наук. сп.
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, м. Київ, n.iefimov@gmail.com

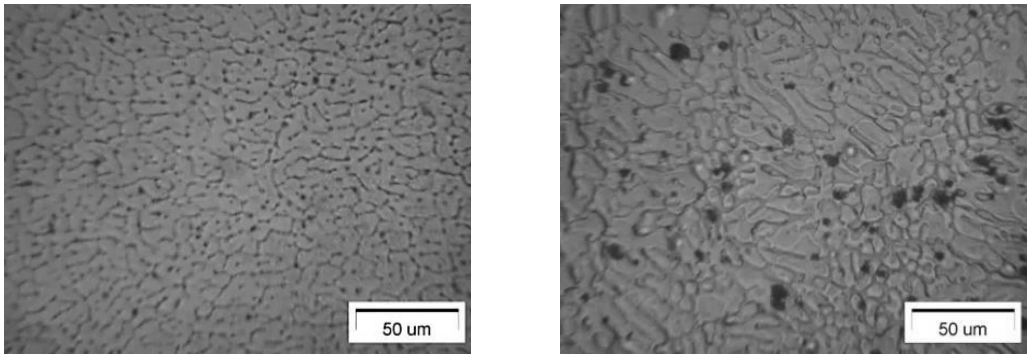
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ Fe ТА СКЛАДУ СПЛАВІВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al - Fe

Для розробки сплавів для електричних дротів широко застосовуються евтектичні сплави алюмінію з 0,5-0,9 мас.% Fe (серія 8) з додаванням елементів, які покращують морфологію Fe-вмісних фаз [1-2] та РЗМ, які покращують міцностні характеристики за рахунок утворення дисперсних часток Al_3(РЗМ) [3]. Для зменшення розмірів інтерметалідніх частинок застосовують високі швидкості кристалізації [1].

Метою роботи було вивчення впливу вмісту Fe при однаковому співвідношенні Fe/Si та додаткового легування сплавів системи Al-Fe на структуру, механічні властивості та електропровідність при застосуванні високої швидкості кристалізації.

На обладнанні, що забезпечує швидку кристалізацію розплаву одержано зливки дослідних сплавів Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce і Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn, з яких виготовлено дроти методом двоступеневої екструзії при 350 - 400°C та з наступним протягуванням при кімнатній температурі. Ступінь витягування складає близько 80%. Отримані дроти піддавали типовій термічній обробці для сплавів системи Al-Fe, а саме відпалювали при 250°C впродовж 12 год. Проведено вимірювання твердості, механічні випробування на розтяг, дослідження структури зливків і дротів методом оптичної мікроскопії (ОМ) та дослідження розподілу легуючих елементів по структурним компонентам у характеристичному випроміненні в скануючому електронному мікроскопі (СЕМ) у дротах у вихідному стані та після ТО.

В литому стані в дослідних сплавах формується зеренна структура з твердого розчину алюмінію і частками евтектичного походження AlFeSi. У зливку сплаву Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce спостерігається структура, яка містить рівноосні зерна твердого розчину Al з розміром 10 мкм та частки інтерметалідів, які розташовані як по границях так і в тілі зерен (рис.1, а). У зливку сплаву Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn сформовано структуру, яка містить суміш зерен твердого розчину Al з різною формою і розміром та ізольовані інтерметаліди темного кольору, які мають переважно глобулярну форму (рис.1, б).

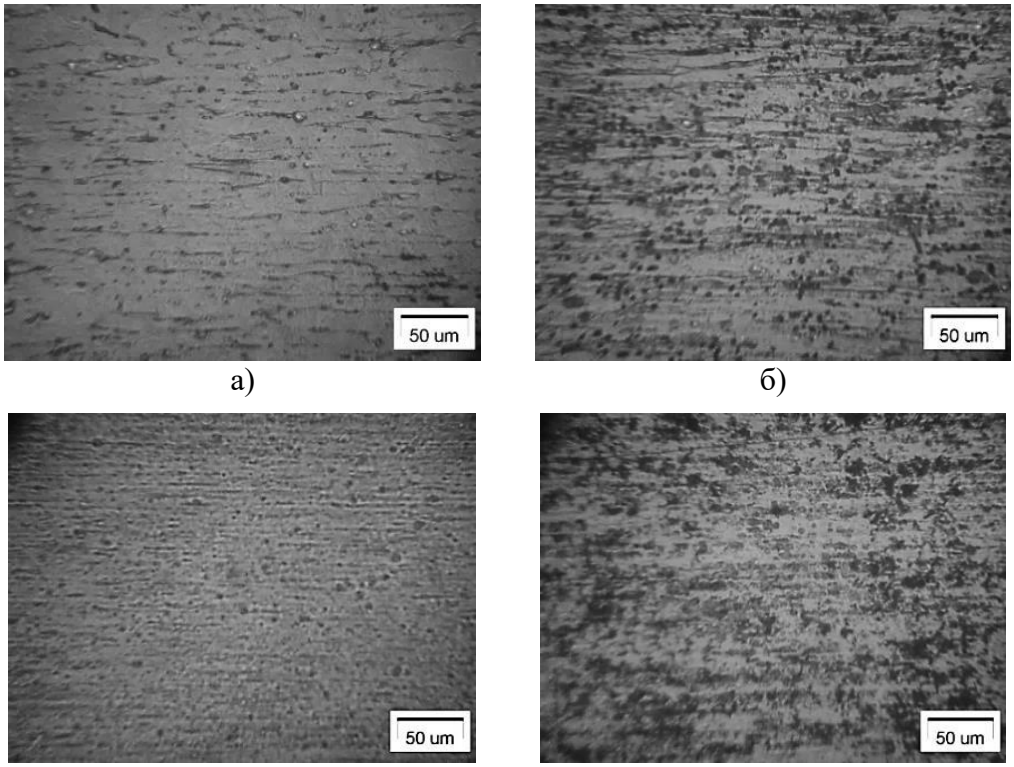


а) б)

Рис. 1 – Структура зливків дослідних сплавів: а) Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce; б) Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn

Дроти з дослідних сплавів мають волокнисту структуру. В прутках з сплаву Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce присутні дрібні інтерметаліди, які розташовані переважно вздовж меж волокон. В дротах зі сплаву Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn спостерігаються інтерметаліди переважно глобулярної форм, які розташовані рівномірно по площі шліфа.

Після відпалу в сплаві Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce не спостерігається ознак рекристалізації, а кількість дрібних інтерметалідів збільшилась за рахунок додаткових виділень в волоконах та по їх границях. В сплаві Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn після відпалу не відбулось помітних змін в структурі дроту (розташування глобулярних інтерметалідів Al-Fe-Si зберігається як у вихідному стані (рис.2).



а) б)

в) г)

Рис. 2 – Структура дротів дослідних сплавів: а) Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce, вихідний стан; б) Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn, вихідний стан; в) Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce, після відпалу; г) Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn, після відпалу

Згідно проведеному дослідженню розподілу легуючих елементів по структурним компонентам дослідних сплавів у характеристичному випроміненні встановлено:

1. В дроті з сплаву Al-0,6Fe-0,2Si-0,15Zr-0,2Ce відпал сприяє збільшенню кількості часток і формуванню округлих часток AlFeSi(Ce) і AlFeSi. Рівень міцності дроту після відпалу збільшився з 125 МПа до 150 МПа, пластичність да руйнування впала з 25 до 21%.

2. В дроті з сплаву Al-1,5Fe-0,6Si-0,15Zr-0,4Mn після відпалу кількість часток AlFeSi суттєво не змінюється, але фіксується незначна кількість округлих частинок Al(FeMn)Si. Рівень міцності практично не змінюється і залишається на рівні 170 МПа, пластичність зростає з 19 до 22%.

Всі отримані дроти по відношенню до електропровідності відпаленої міді (IACS) знаходиться в межах 51-56 %, що задовольняє вимогам стандарту ASTM B941-05.

Таким чином, показано, що підвищення вмісту Fe в сплавах Al-Fe дає можливість отримати задовільний рівень міцностних характеристик, електропровідності та підвищену пластичність, без застосування коштовного церію, що здешевлює вартість кінцевого виробу.

Список посилань

1. Lan X. Developing Al–Fe–Si alloys with high thermal stability through tuning Fe, Si contents and cooling rates / X. Lan, K. Li, J. Wang, M. Yang, Q. Lu, Y. Du //Intermetallics, 2022. – Vol. 144. – P. 107505. https://doi.org/10.1016/j.intermet.2022.107505
2. Luo G. Design and preparation of Al−Fe−Ce ternary aluminum alloys with high thermal conductivity / G. Luo, X. Zhou, Ch. Li, J. Dy, Zh. Huang // Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2022. – Vol. 32, No.6. – P. 1781−1794. DOI: 10.1016/S1003-6326(22)65908-9
3. Wang W. Microstructure and properties of novel Al-Ce-Sc, Al-Ce-Y, Al-Ce-Zr and Al-Ce-Sc-Y alloy conductors processed by diecasting, hot extrusion and cold drawing // W. Wang, Q. Pan, G. Lin, X. Wang, Y. Sun, Ji. Ye, Yu. Sun, F. Jiang, J. Li, Y. Liu // J. Mater. Sci. Technol., 2020. – Vol. 58. – P. 155-170. DOI: 10.1016/j.jmst.2020.03.073

УДК 621.9

Ремінний М.П., аспірант
ДНУ Київський академічний університет
Костін В.А., докт. техн. наук, професор
Головко В.В., докт. техн. наук, професор
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

МІКРО- ТА НАНОСТРУКТУРОВЕ ЗМІЦНЕННЯ ЗВАРНИХ ШВІВ ВИСОКОМІЦНИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

У сучасному зварювальному виробництві важливу роль відіграє підвищення якості металу швів шляхом керування його структурою. Механічні властивості металу зварного з’єднання у цілому комплексі визначаються його структурою. Формування первинної структури зварних швів починається із зародження та розвитку дендритів у рідкому металі зварювальної ванни. При зварюванні низьколегованих сталей дендрити δ-фериту утворюються на межі плавлення з основним металом. Подальший їх розвиток визначається градієнтом температури, інтенсивністю конвективних течій у розплаві та характером зародження та взаємодією дендриту, що росте, з рідким металом. Присутність тугоплавких кристалічних частинок у зварювальній ванні може суттєво впливати на утворення дендритів та, відповідно, на первинну та вторинну структуру зварювального металу.

Одним із перспективних напрямів є модифікування металу швів нанодисперсними частинками. У цій роботі досліджено вплив різних типів модифікаторів (CaO, MgO, ZrO_2, Al_2O_3, TiO_2, TiC) у вигляді порошкового дроту на мікроструктуру, фазовий склад, твердість і розмір зерен зварного металу сталі 09Г2С.

Дослідження проводились на трьох серіях зразків із вмістом модифікатора 1%, 1,5% і 2%. Металографічний аналіз проводився при збільшенні 200× і 500×. Вимірювання твердості виконувалось методом Віккерса, а структурні параметри визначались за допомогою програмного забезпечення ImageJ. За результатами побудовано гістограми розподілу зерен, визначено середній еквівалентний діаметр, стандартне відхилення та частку фаз.

Встановлено, що при вмісті модифікатора до 1,0…1,5% структура зварного металу характеризується мінімальним середнім розміром зерен (5,3–9,5 мкм), високою однорідністю, збалансованим фазовим складом та достатньою твердістю. Зі збільшенням вмісту модифікатора до 2% спостерігається укрупнення зерен (до 18,9 мкм), зростання стандартного відхилення, поява аномально великих зерен, зменшення твердості та зниження частки голчатого фериту при збільшенні пластинчастого фериту. Оптимальні властивості металу швів було отримано при використанні модифікаторів TiO_2 та ZrO_2 при їх вмісті 1–1,5%.