

Секція: НОВІ МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ, НАПИЛЕННЯ

УДК 621.791.92

Анатолій Бабінець, к.т.н., с.досл.; Ігор Рябцев, д.т.н., проф.; Іван Лентюгов, к.т.н., с.досл.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, Україна

ЕФЕКТ СТРУКТУРНОЇ СПАДКОВОСТІ У СТАЛЯХ ТА СПЛАВАХ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

Анотація. Описано сучасні погляди про поняття ефекту структурної спадковості в сталях та сплавах. Визначено основні фактори що приводять до отримання позитивного чи негативного ефекту структурної спадковості. Описано основні підходи до керування структурою та властивостями наплавленого металу за рахунок використання ефекту структурної спадковості.

Ключові слова: дугове наплавлення, наплавлений метал, структура металу, структурна спадковість, порошковий дріт

Anatoly Babinets, Ph.D.; Ihor Ryabtsev, Ph.D., Prof.; Ivan Lentuyhov, Ph.D.

THE EFFECT OF HEREDITY IN STEELS AND ALLOYS AND PROSPECTS FOR ITS USE IN ELECTRIC ARC SURFACING

Abstract. Modern views on the concept of the effect of structural heredity in steels and alloys are described. The main factors leading to a positive or negative effect of structural heredity have been determined. The main approaches to control the structure and properties of the deposited metal due to the use of the effect of structural heredity are described.

Keywords: arc surfacing, deposited metal, metal structure, structural heredity, flux-cored wire

Широко відомо, що властивості сталей та сплавів визначаються їх структурою та особливостями її зміни в наслідок дії зовнішніх факторів. У загальному випадку, відоме твердження, що чим дрібніше зерно у сталі (сплаві), тим кращі будуть їх фізичні та експлуатаційні властивості. Разом з тим, при вивченні закономірностей формування структури сталей та сплавів, отриманих різними методами наплавлення (зварювання) основна увага, як правило, приділяється їх хімічному складу та впливу термічного циклу наплавлення (зварювання) [1]. При цьому недостатньо дослідженою є проблема зв'язку між вихідною структурою присадних або електродних матеріалів та структурою отриманого наплавленого металу.

Ще академік Є.О. Патон звертав увагу на те, що якість та властивості зварного з'єднання залежать від якості як електродного (присадного), так і від основного металу. Чим якісніше і однорідніше за складом вихідні матеріали, тим вища ймовірність отримання якісної продукції. Тому технологіями-зварювальниками запропоновані такі методи підвищення якості металів та сплавів, як електрошлаковий, вакуумно-дуговий та електронно-променевий переплави [2].

У зварювальній технічній та науковій літературі практично відсутні публікації з проблеми зв'язку структури вихідних твердих матеріалів з аналогічними структурами зварювальної ванни та затверділого металу зварного шва або наплавленого металу, і термін «спадковість» стосовно системи «вихідний електродний або присадний матеріал - розплав зварювальної ванни - твердий метал», у наплавленні (зварюванні) використовується досить рідко [2].

Однак саме в такій системі, коли наплавлений метал як би успадковує структуру вихідних матеріалів для наплавлення за розміром зерна, складом, розмірами та розподілом зміцнюючих і/або неметалевих включень, на нашу думку, доцільно застосовувати термін «спадковість».

Спадковість, яка проявляється у вигляді збереження в металі після фазового чи структурного перетворення певних особливостей будови його вихідної структури на різних рівнях (макроскопічному, мікро- та субмікроскопічному), називають структурною. Одним із видів структурної спадковості після фазового або структурного перетворення є існування в сталі хімічної неоднорідності, яка проявляється у збереженні ліквідаційних ділянок, що виникають при кристалізації розплаву [3].

У металургії позитивний або негативний вплив вихідних шихтових матеріалів на будову розплаву, а через нього на структуру і фізико-механічні властивості твердого металу в системі «шихта - розплав - виливок» помічено давно. Прояви такої «металургійної спадковості» пов'язують із збереженням в розплаві неметалевих фаз, газів, домішок та елементів кристалічної будови вихідного металу, зумовлених технологічною передісторією виготовлення, підготовки, плавлення, розкислення і кристалізації металу шихти [4, 5]. Дослідженнями показано, що в металургії при формуванні структури і фізико-механічних властивостей твердого металу виливків, важливого значення набуває мікробудова металевого розплаву [4].

Відомо, що після початкового плавлення шихти в рідкому металі спостерігається мікронеоднорідний нерівноважний стан розплаву - в ньому є кристалоподібні угруповання атомів (кластери) та зона розпорошеного розташування атомів. Мікроструктура затверділих виливків та їх експлуатаційні властивості можуть залежати від вихідної структури шихтових матеріалів, а також умов теплових режимів нагріву, розплавлення, швидкостей охолодження і затвердіння розплаву [6].

При нагріванні металу вище за температуру розупорядкування кластерів розплав стає повністю мікрооднорідним і при його твердінні вихідна структура металеві шихти не відновлюється. При нагріванні металу до температури, меншої за температуру розупорядкування, в ньому ще є не зруйновані кластери розплаву, успадковані від вихідних матеріалів шихти. При затвердінні такого розплаву з цих кластерів зароджуються кристали і формується спадкова структура вихідної шихти [6].

Таким чином, в більшості випадків спадковість структури сталей пов'язують з нерівноважністю структурного стану розплаву, з наявністю в ньому динамічних угруповань атомів (кластерів) з певним типом просторового угруповання ближнього порядку та оточуючих їх розупорядкованих активізованих атомів [4, 7]. При цьому зміна агрегатного стану металів та сплавів не призводить до суттєвої перебудови структур ближнього порядку - тобто кластери структурно і генетично пов'язані з вихідним твердим металом [8].

Такі закономірності відкривають можливість управління структурою наплавленого металу за рахунок ефекту спадковості структури в системі «шихта – розплав - твердий метал», з метою підвищення його експлуатаційних властивостей. Проте дослідження структурної спадковості при наплавленні (зварюванні) порівняно з металургією ускладнюється такими факторами [2]:

- процеси нагрівання, плавлення та перенесення електродного (присадного) матеріалу при різних способах наплавлення (зварювання) по більшості фізико-металургійних параметрів мають значні відмінності;

- додатковий вплив складу та структури основного металу, який переплавляється та потрапляє у зварювальну ванну ускладнює встановлення закономірностей впливу вихідних електродних (присадних) матеріалів;

- температурно-часові параметри зварювальної ванни (на відміну від металургійної печі) не є стаціонарними і важко піддаються регулюванню, внаслідок чого структура розплаву зварювальної ванни, мабуть, буде далека від рівноважної.

Структурна спадковість у сталях та сплавах найчастіше пов'язана з їх вихідним хімічним складом, структурним станом і швидкістю нагрівання і проявляється як у вигляді відновлення розмірів зерен, так і у вигляді збереження орієнтації кристалітів. Це може супроводжуватися розпадом характерних структурних елементів [9], що особливо важливо в таких процесах високотемпературної обробки як наплавлення (зварювання).

Використати ефект структурної спадковості при різних методах наплавлення можна декількома шляхами, наприклад, змінюючи склад, структуру та форму вихідних шихтових матеріалів. Використання чистих матеріалів із мінімальним вмістом шкідливих домішок, однорідних за складом і будовою, повинно забезпечити отримання наплавленого металу з більш високими експлуатаційними властивостями. Наприклад, для широко застосовуваних при наплавленні високолегованих порошкових дротів і стрічок, а також спечених стрічок перспективним є використання в якості шихти лігатур, виготовлених із застосуванням рафінуючих переплавів, або гранульованих «чистих» матеріалів, отриманих методами газового розпилення.

Іншим способом керування структурою є зміна енергетичних та технологічних режимів наплавлення, впливаючи таким чином на процес кристалізації наплавленого металу. Особливо це стосується плазмового та електрошлакового способів наплавлення з присадкою порошку або інших некомпактних матеріалів, які є не струмопровідними і відсутній жорсткий зв'язок між струмом дуги та продуктивністю розплавлення наплавного матеріалу. Змінюючи технологічні параметри наплавлення, наприклад, швидкість подачі, можна в широких межах змінювати температуру зварювальної ванни, а також структуру та властивості наплавленого металу [1].

Щодо електродугового наплавлення, то використання ефекту структурної спадковості в наслідок підготовки вихідних шихтових матеріалів ускладнено. Відомо, що компоненти шихти порошкових дротів для дугового наплавлення (зварювання) повинні відповідати певним вимогам щодо грануляції. Розмір частинок порошоків, які входять до складу шихти, визначає сипкість останньої і, як наслідок, якість дозування при заповненні дроту. Тому в порошках, що використовуються для виготовлення дроту, небажано наявність пилоподібної фракції з розміром частинок менше 50 мкм і великих частинок з розміром, який перевищує 300 мкм [1].

Разом з тим, дані щодо впливу розміру частинок вихідних шихтових матеріалів на розмір кінцевої отриманої структури наплавленого металу досить розрізнені і неоднозначні. Це може бути пов'язано, в першу чергу, з високою температурою в зоні наплавлення (зварювання). Адже широко відомо, що температура в стовпі дуги, через яку проходить розплавлена крапля металу, може досягати 5000...6000 К, при цьому температура самої краплі досягає 2300...2700 К [10].

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є використання у складі шихти порошкових дротів таких компонентів, які мають високу температуру плавлення (вище 2700 К), і можуть певною мірою зберегти при плавленні свою вихідну структуру. При охолодженні зварювальної ванни вони можуть стати центрами кристалізації і активно впливати на структуру утвореного металу. Наприклад у роботі [11] було показано, що введення мікродобавок бору або карбідів титану безпосередньо через шихту електродних порошкових дротів, суттєво впливає на структуру наплавленого металу, приводячи до її подрібнення, перерозподілу неметалічних включень і підвищення мікротвердості металу. Іншими способами є використання додаткового присадного

матеріалу, який може подаватись у хвостову частину зварювальної ванни у вигляді дроту або порошку.

Таким чином, виходячи із сучасних уявлень про взаємозв'язок рідкого та твердого станів сталей та сплавів, і про прояв ефекту структурної спадковості у них, одним з перспективних напрямів керування структурою та властивостями наплавленого металу, є використання ефекту структурної спадковості у системі «вихідний електродний або присадний матеріал - розплав зварювальної ванни - твердий метал». Цього можна досягти за рахунок застосування різних технологічних прийомів, спрямованих на певну попередню підготовку шихтових матеріалів, та/або керування тепловкладенням з метою контролю температури рідкого металу не вище за температуру розупорядкування кластерів.

Перелік посилань

1. Surfacing and additive technologies in welded fabrication / Ryabtsev Igor, Fomichov Serhii, Kuznetsov Valerii and others//Springer Nature Switzerland AG. 2023. ISBN 978-3-031-34390-2 (eBook).
2. Ryabtsev I.A. Structural heredity in the initial materials - metal melt - solid metal system (Review). The Paton Welding Journal. 2006. № 11. P. 8-12.
3. Тимофеев Г.В. Структурная наследственность в прокате больших сечений из непрерывнолитых заготовок / Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Зб. наук. пр. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України, 2012. Вип. 25. С. 192-198.
4. Кондратюк С.Є., Примак І.Н., Щеглов В.М., Пляхтур О.О. Спадковість структури і прояви ліквації при переплавах сталі Р6М5 / Металознавство та обробка металів. 2009. № 3. С. 3-10.
5. Лучкин В.С. Металлургическая наследственность в жидкой стали / В.С. Лучкин, Л.Г. Тубольцев, В.П. Корченко и др. // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Зб. наук. пр. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України, 2007. Вип. 15. С. 130-140.
6. Скребцов А.М. Затвердевание и свойства литейных сплавов. Мариуполь: ПГТУ, 2004. 204 с.
7. Скребцов А.М. Температура разрушения кластеров металлического расплава академика В.И. Архарова или только потеря наследственных признаков шихты / Процеси лиття, 2008. С. 9-15.
8. Кондратюк С.Е. Наследственное модифицирование сталей дисперсно-структурированными компонентами шихты / С.Е. Кондратюк, Е.Н. Стоянова, В.М. Щеглов и др. // Процеси лиття. 2013. № 2. С. 19-23.
9. Дяченко С.С. Спадковість і її роль при термічній обробці сталі (огляд) / Металознавство та обробка металів. 2004. № 2. С. 3-14.
10. Babinets A.A. and Ryabtsev I.O. Classification of methods of modification and microalloying of deposited metal (Review). The Paton Welding Journal. 2021. № 9. P. 2-8.
11. Ryabtsev I.O. Influence of different types of modifiers on the structure and properties of deposited metal of the type of 25KH5MFS tool steel / I.O. Ryabtsev, A.A. Babinets, M.O. Pashchyn and others // The Paton Welding Journal. 2023. № 5. P. 11-14.