

В.Г. Загорянський, асист.

О.Ф. Саленко, д.т.н., доц.

Кременчуцький державний політехнічний університет

І.В. Петко, д.т.н., проф.

Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПІД ВПЛИВОМ ГІДРОСТРУМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ

Розв'язана задача регулювання зварювального термічного циклу методом гідроструменевої обробки з метою мінімізації перегріву зерен аустеніту при охолодженні пришовної зони і недопущення одержання грубозернистої структури з невисокими механічними властивостями, наведені результати досліджень зміни структури металу під впливом гідроструменевої обробки в порівнянні з його первинною структурою та структурою металу, підданого термічній обробці.

Вступ. Механічні, технологічні та службові властивості зварних з'єднань визначаються їхньою структурою, яка є гетерофазною системою. Зварювання сталей пов'язане з процесами нагрівання й охолодження металу, які визначають особливості протікання структурно-фазових перетворень, наявність градієнта температур і напруг.

Відомо, що при всіх способах зварювання умови нагрівання й охолодження як фактори, що впливають на одержання тієї чи іншої структури металу, будуть значно відрізнятися від умов пічної термообробки, що призводять до одержання близьких структур [1]. Ці відмінності полягають у тім, що максимальні температури нагрівання в пришовній зоні близькі до температури плавлення, а при термообробці – лише на 100–150 °С перевищують точку A_{c3} .

Перехід при нагріванні через критичну точку A_1 супроводжується для доевтектоїдних сталей перетворенням вихідної структури-перліту в аустеніт. Після закінчення процесу перетворення перліту в аустеніт утворюється велика кількість малих аустенітних зерен, розмір яких характеризує величину початкового зерна аустеніту. Знов утворений аустеніт не однорідний за вмістом вуглецю. У тих місцях, де залягали зерна або пластинки перліту, вміст вуглецю буде більше, ніж у тих місцях, де залягали пластинки фериту. Для одержання однорідного за складом аустеніту потрібно перегріти сталь вище критичної точки перлітно-аустенітного перетворення або витримати при цій температурі для завершення процесу дифузії всередині аустенітного зерна. Чим менше частки цементиту у вихідній структурі, тим швидше проходить зазначений процес.

Підвищення температури після закінчення перетворення перліту в аустеніт або витримка в нагрітому стані викликають зріст аустенітних зерен.

На властивості сталі значно впливає дійсний розмір зерна, тобто розмір зерна, отриманий у результаті термічного циклу, що відповідає даним конкретним умовам. Укрупнення зерна аустеніту в сталі на таких властивостях, як границя текучості, твердість, опір розриву, відносно подовження відбивається несуттєво. Укрупнення зерна сильно знижує ударну в'язкість сталі, особливо при її високій твердості [2].

Високі температури і швидкості нагрівання при зварюванні ведуть до інтенсивного зростання зерна аустеніту і зниження ступеня його гомогенізації, що, у свою чергу, впливає на стійкість аустеніту в температурних інтервалах його перетворення.

При збільшенні швидкості нагрівання підвищуються температури перетворення перліту та фериту в аустеніт (A_{c1} і A_{c3}) і розширюється температурний інтервал (A_{c1} – A_{c3}). Завдяки цьому зменшується початкове зерно аустеніту і підвищується температура початку інтенсивного зростання зерна. При легуванні сталі елементами, що створюють карбіди, температура A_{c3} підвищується найбільш сильно, у зв'язку з чим обмежується зріст зерна [3].

Характерним для ділянок зони термічного впливу, які прилегли до лінії сплавлення, є утворення високотемпературної хімічної мікронеоднорідності, що може з'явитися причиною істотного зниження службових властивостей зварених з'єднань. Ділянка зони термічного впливу, що впливає за ділянками, які прилегли до лінії сплавлення, характеризується грубозернистою структурою в результаті перегріву аустенітних зерен. У низьковуглецевих і низьколегованих сталях при уповільненому наступному охолодженні утвориться феритно-перлітна структура видманштетового типу, що має невисокі механічні властивості. Максимальні температури нагрівання металу на цій ділянці перевищують температуру початку інтенсивного росту зерна аустеніту $t_{\text{ИРА}}$ [4].

Метою досліджень є розв'язання задачі регулювання термічного циклу зварювання методом гідроструменевої обробки з метою мінімізації перегріву зерен аустеніту при охолодженні пришовної зони і недопущення одержання при перегріві крупнозернистої структури з невисокими механічними

властивостями. Попутно досліджувалася зміна структури металу під впливом гідроструменевої обробки в порівнянні з первинною структурою і структурою металу, підданого термічній обробці.

Матеріал і результати дослідження. При розгляді кінетики росту зерна низьколегованих сталей в умовах термічного циклу зварювання можна відзначити, що найбільш інтенсивно зерно росте при температурах, близьких до максимальної температури термічного циклу зварювання. Зріст зерна не закінчується в період нагрівання, а продовжується і при охолодженні, але з меншою інтенсивністю. З цього випливає, що при оцінці розміру зерна в пришовній зоні необхідно враховувати і тривалість перебування металу вище точки A_{c3} у процесі охолодження, що може бути значно більше тривалості перебування вище точки A_{c3} при нагріванні, особливо у випадку однопрохідного зварювання сталі середньої товщини.

Прикладом перетворення дифузійного типу є перлітне перетворення при розпаді аустеніту при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Однією з характеристик перлітної структури є остаточний розмір колоній (перлітних зерен). Чим менше розмір аустенітних зерен і нижче температура перетворення, тим менше розмір перлітних зерен. Зі зменшенням їхнього розміру механічні властивості структури поліпшуються [4].

У ході першої стадії експериментів було здійснено стикове зварювання пластин з низьколегованої сталі 40Х товщиною $\delta = 10$ мм (базова товщина, додаткові виміри проводилися з пластинами товщиною 11, 12, 13, 14 і 15 мм) дуговим зварюванням (схема швидкодійного лінійного джерела теплоти в пластині). Режими зварювання приймалися близькими до середніх, що рекомендовані в літературі ($U = 34$ В, $I = 250$ А, $\eta = 0,8$, ефективна потужність дуги $q = 6800$ Вт), теплофізичні коефіцієнти приймалися незалежними від температури усередненими (як для інженерних розрахунків при зварюванні низьколегованих сталей). Швидкість зварювання варіювалася в діапазоні від 4 до 5 м/год, що відповідає швидкості 0,0009–0,0013 м/с (з кроком 0,0001 м/с).

Використовуючи залежність для визначення максимальних температур T_{max} точок поверхні пластини від відстані від осі зварного шва у

$$T_{max} = \frac{q}{\sqrt{2\pi e \cdot v \cdot c_p \cdot \delta \cdot y^2}} \left(1 - \frac{b \cdot y^2}{2 \cdot a} \right), \quad (1)$$

були отримані значення, які показують, що точки зони термічного впливу з максимальною температурою нагрівання, яка нас цікавить, будуть лежати на відстані y від осі шва приблизно 2,4–2,7 см, що визначається шириною зони між ізотермічними поверхнями з температурами 800 і 900 °С відповідно. Для подальших розрахунків відстань від осі шва в було прийнято 2,5 см.

Проведені в математичному редакторі Mathcad 2000 Professional розрахунки показали, що місце прикладення впливу струменя рідини як регулятора термічного циклу раціонально при відстані x від джерела зварювальної теплоти в рухомій системі координат в інтервалі 0,09–0,11 м (рис. 1). Для практичного використання можна прийняти відстань x рівною 10 см.

Залежність температури точки зони термічного впливу від швидкості зварювального джерела теплоти має вид лінійної (рис. 2). Зі збільшенням швидкості зварювання на 0,001 м/с температура точки зони термічного впливу падає приблизно на 30 °С.

Залежність температури точки зони термічного впливу від товщини пластин, що зварюються,

показана на рис. 3. Збільшення температури $\frac{dT}{d\delta}$ розглянутої точки зони термічного впливу зменшується

зі зростанням товщини δ металу, що зварюється. Слід зазначити, що значення температури досліджуваних точок падає зі збільшенням товщини металу, що зварюється, у середньому на 60–70 °С на 1 мм збільшення товщини.

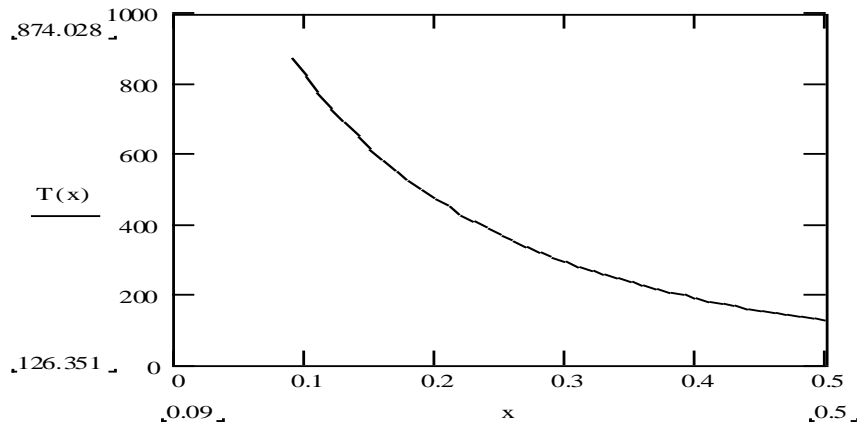


Рис. 1. Залежність температури точки зони термічного впливу T , °C, від відстані x , м від джерела зварювальної теплоти

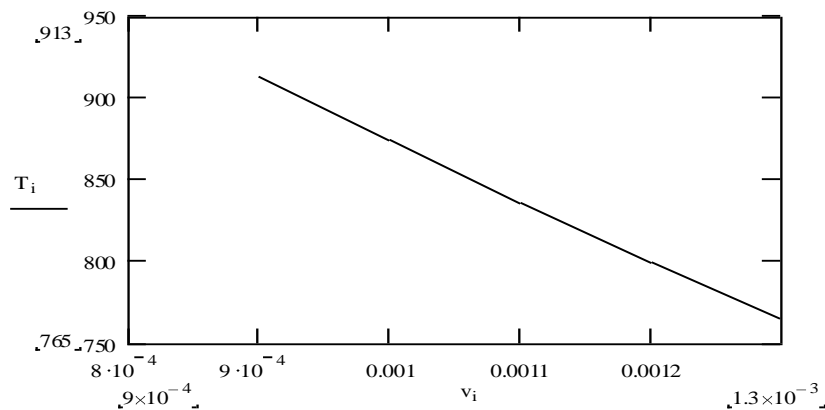


Рис. 2. Залежність температури точки зони термічного впливу T , °C, від швидкості зварювання v , м/с

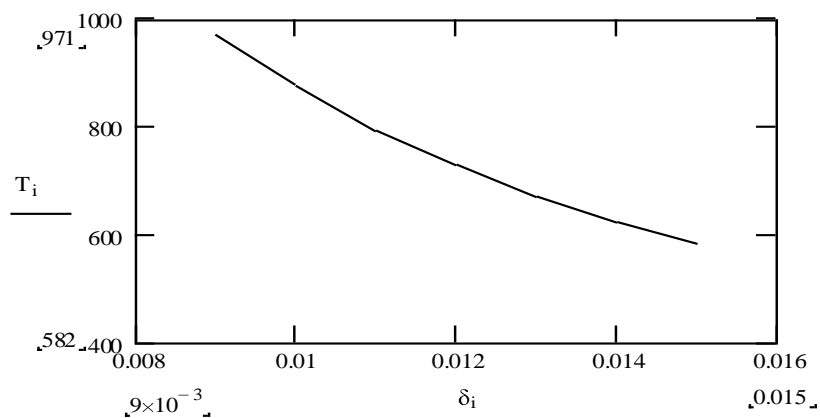


Рис. 3. Залежність температури точки зони термічного впливу T , °C, від товщини пластин, що зварюються, δ , м

Для визначення режиму гідроструменевої обробки, здатного зменшити температуру точок зони термічного впливу, складався тепловий баланс, у прибутковій частині якого виступає кількість теплоти, отримана металом при зварюванні, а у видатковій – кількість теплоти, відібрана в металу обсягом рідини, теплообміном з повітрям і паром, що утвориться. Знаючи кількість теплоти, розподілену в деякому обсязі металу в деякий проміжок часу, закономірність його зменшення і кількість теплоти, відібрану теплообміном з охолоджувальною рідиною, можна визначити температуру металу в проміжок часу, який

безпосередньо йде за охолодженням [5]. Розв'язувалася зворотна задача: знаючи розподіл температур у пластині після зварювання і гідроструменевої обробки, обчислити обсяг рідини, що викликає бажане зменшення температури.

Проведені розрахунки показали, що обсяг рідини, необхідний при даних режимах зварювання для зниження температури точки зони термічного впливу з 830 °С до 723 °С (температура, при якій аустеніт розпадається на тверду однорідну суміш кристалів фериту і цементиту – перліт), складає приблизно 120 мл за хвилину або 0,12 л за хвилину.

З метою перевірки розрахункових значень температур точок зони термічного впливу після гідроструменевої обробки зі знайденим режимом були експериментально визначені температури в десятих точках. Координати точок щодо джерела зварювальної теплоти в рухомій системі координат не змінювалися, виміри проводилися через інтервал у 30 с, щоб виключити викривлення температурного поля впливом попереднього охолодження.

Розбіжність розрахункових температур у точках зони термічного впливу після охолодження методом гідроструменевої обробки з отриманими експериментально складає в середньому 5–7 %, максимальна розбіжність – 8,9 %. Графіки розрахункових (x_i , °С) і отриманих експериментально (y_i , °С) температур (i – номер виміру) представлені на рис. 4.

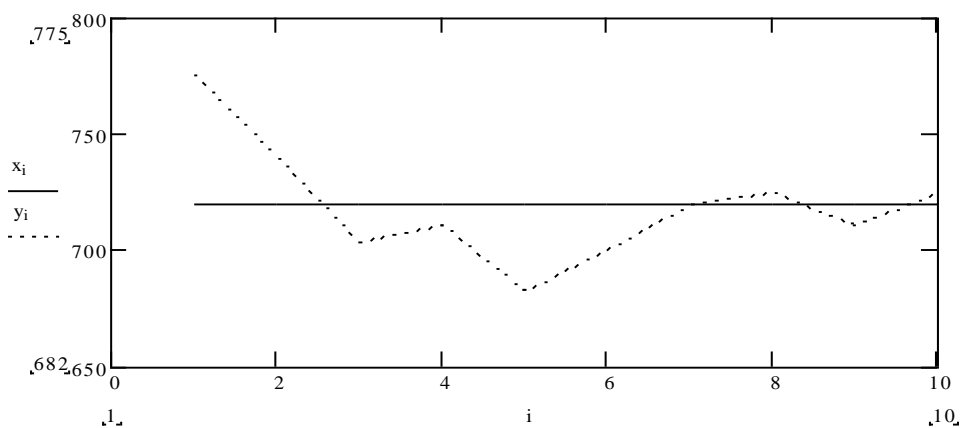


Рис. 4. Температури точок зони термічного впливу – розрахункові (x_i , °С) та отримані експериментально (y_i , °С), де i – номер виміру

Первинна структура металу зразка зі сталі 40Х представлена на рис. 5 (тут і далі збільшення $\times 200$). Чітко видно зерна перліту, по границях яких розподіляються темні карбідні ділянки. Підрахунок зерен дозволяє визначити середні розміри вихідного зерна.

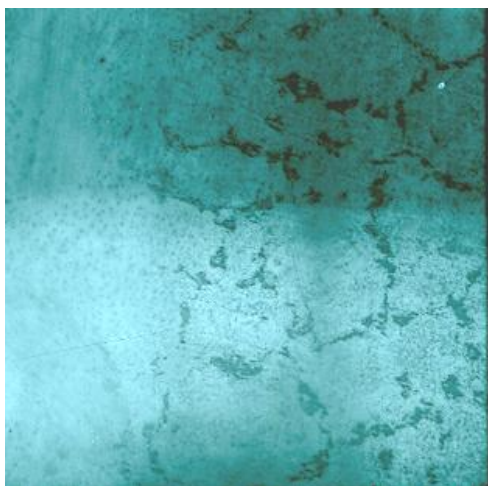


Рис. 5. Вихідна структура матеріалу сталі 40Х

На рис. 6 представлена структура зони термічного впливу звареного з'єднання тієї ж сталі. У цьому випадку зміну структури можна співвіднести з результатом термічної обробки цієї сталі, у даному випадку нормалізації в спокійному повітрі. Відбулося подрібнення розмірів зерен.

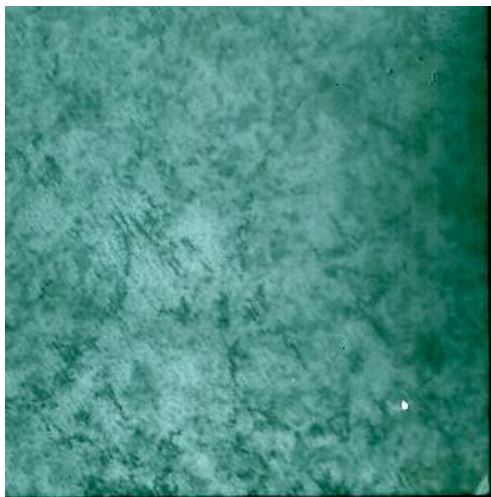


Рис. 6. Структура матеріалу після термічної обробки

На рис. 7 представлена структура зони термічного впливу зразків після гідроструменевої обробки. Помітно значне зменшення розмірів зерен металу. По границях зерен явно видні темні включення, що утворилися, очевидно, у результаті неповного розчинення карбідів. Таким чином, крім одержання дрібнозернистої структури металу проведена обробка призвела до одержання значної дисперсної фази карбідів, що зміцнює.

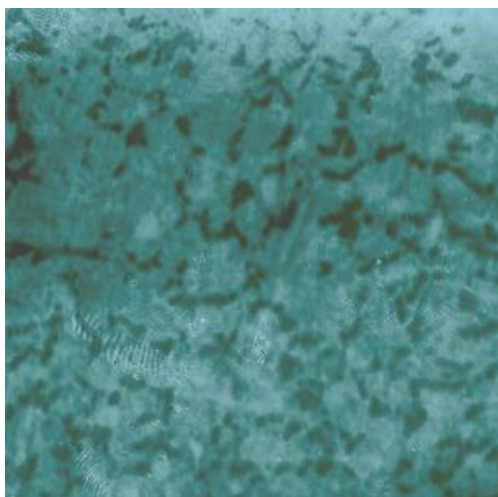


Рис. 7. Структура зони термічного впливу матеріалу після гідроструменевої обробки

Присутність у досліджуваній сталі елемента хрому, що створює карбіди, призвела також до того, що внаслідок неповного розчинення карбідів і малого ступеня гомогенізації аустеніту при швидкому охолодженні твердий розчин виявився збіднений вуглецем, що викликало також наявність голчастого фериту та проміжних структур.

Висновки. Отримано експериментальне підтвердження проведеного в статті розрахунку режиму гідроструменевої обробки звареного з'єднання, що показало значне зменшення розмірів зерен структури металу, яке стало причиною поліпшення механічних властивостей зварного з'єднання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Теоретические основы сварки / Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. школа, 1970. – 592 с.
2. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т.1. Свариваемость материалов: Справ. Изд. / Под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Metallurgiya, 1991. – 528 с.

3. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – Харьков: ХГУ, 1968. – 503 с.
4. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
5. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 510 с.

ЗАГОРЯНСЬКИЙ Володимир Георгійович – асистент кафедри технології машинобудування Кременчуцького державного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

- енергоємні технології;
- металознавство зварювання.

САЛЕНКО Олександр Федорович – доктор технічних наук, доцент, завідуючий кафедрою верстатів та верстатних комплексів Кременчуцького державного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія обробки за допомогою швидкоплинного струменя;
- дизайн та технологія верстатобудування.

ПЕТКО Ігор Валентинович – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою машин та апаратів Київського національного університету технологій та дизайну.

Наукові інтереси:

- струменеві технології та системи високого тиску.

Подано 9.10.2003

Загорянський В.Г., Петко І.В., Саленко О.Ф. Експериментальне дослідження зміни структури металу зварних з'єднань під впливом гідроструменевої обробки

Загорянский В.Г., Петко И.В., Саленко А.Ф. Экспериментальное исследование изменения структуры металла сварных соединений под воздействием гидроструйной обработки

Zagoryansky V.G., Petko I.V., Salenko A.F. Experimental research of changing of welded joints' structure under hydrojet processing influence

УДК 621.9.532.522.2

Експериментальне дослідження зміни структури металу зварних з'єднань під впливом гідроструменевої обробки/ В.Г. Загорянський, І.В. Петко, О.Ф. Саленко//

Розв'язана задача регулювання зварювального термічного циклу методом гідроструменевої обробки з метою мінімізації перегріву зерен аустеніту при охолодженні околовшовної зони і недопущення одержання грубозернистої структури з невисокими механічними властивостями, наведені результати досліджень зміни структури металу під впливом гідроструменевої обробки в порівнянні з його первинною структурою і структурою металу, підданого термічній обробці.

УДК 621.9.532.522.2

Экспериментальное исследование изменения структуры металла сварных соединений под воздействием гидроструйной обработки/ В.Г. Загорянский, И.В. Петко, А.Ф. Саленко//

Решена задача регулирования сварочного термического цикла методом гидроструйной обработки с целью минимизации перегрева зерен аустенита при охлаждении околовшовной зоны и недопущения получения грубозернистой структуры с невысокими механическими свойствами, приведены результаты исследований изменения структуры металла под влиянием гидроструйной обработки в сравнении с его первичной структурой и структурой металла, подвергнутого термической обработке.

УДК 621.9.532.522.2

Experimental research of changing of welded joints' structure under hydrojet processing influence/ V.G. Zagoryansky, I.V. Petko, A.F. Salenko//

Task of regulating of welding thermal circle by hydrojet processing method for minimizing extra-heated austenite grains in he time of cooling near-seam zone and protect from receiving rough-grained structure with bad mechanical property has solved, results of researches of changing metal structure under hydrojet processing influence comparatively its first structure and metal structure is exposed to thermal treatment have resulted.