

ГІБРИДНЕ ЛАЗЕРНО-ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ*НТУ «Дніпровська політехніка»***Субота І.С.****Науковий керівник :д.т.н., проф. Лаухін Д.В.**

У машинобудуванні для виготовлення зварних металоконструкцій стріл екскаваторів, кранів на колісному ході, бетононасосів широко використовуються високоміцні сталі. Застосування таких сталей дозволяє не тільки зменшити масу цих конструкцій, але і поліпшити їх технічні характеристики. Найчастіше при виготовленні зазначених металоконструкцій використовують механізоване або автоматичне зварювання в середовищі захисних газів. При цьому вибирають такі режими зварювання, які б дозволили, з одного боку, забезпечити високу продуктивність, а з іншого боку – гарантувати необхідний комплекс механічних властивостей металу швів і зони термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань, і їх високий опір утворенню холодних тріщин.

В даний час досить добре вивчені процеси структуроутворення в металі ЗТВ зварних з'єднань під впливом термічних циклів зварювання. Отримано численні експериментальні дані щодо впливу режимів механізованого зварювання та умов охолодження зварних з'єднань сталей з межею плинності 350...600 МПа на їх механічні властивості. На базі структурно-аналітичних оцінок авторами зазначених робіт зроблений прогноз можливих шляхів підвищення міцності зварних з'єднань, а також їх тріщиностійкості. Показано, що це може бути забезпечено за рахунок формування в металі певного фазового складу і параметрів структури. Однак, в сучасній промисловості все частіше виникає потреба в застосуванні для виробництва зварних металевих конструкцій, що працюють в умовах складних навантажень економно легованих високоміцних сталей, які забезпечують високі експлуатаційні характеристики: статичну міцність, пластичність, ударну в'язкість, тріщиностійкість, тощо [1].

Класифікація сталей для зварних з'єднань

1. До низьколегованих високоміцних сталей з межею плинності більш ніж 600 МПа відносяться сталі, що містять в невеликій кількості окремо або в певному поєднанні (зазвичай до 2,5%) такі легуючі елементи як марганець, хром, нікель, молібден, а також мікролегуючі елементи такі як ванадій, ніобій, мідь, кремній. Межа міцності таких сталей досягає 900 МПа й більше. Необхідні показники механічних властивостей таких сталей, включаючи холодостійкість та тріщиностійкість набувають в результаті термічного оброблення (гартування + високотемпературний відпуск) в результаті яких в сталевому прокаті формується бейнітна, мартенситна або змішана бейнітно-мартенситна структура. Високі механічні властивості сталі забезпечує дрібнозерниста структура, отримана контрольованою прокаткою і подальшим прискореним охолодженням.

2. До середньолегованих сталей відносяться сталі з сумарним змістом легуючих елементів 2,5...10%. Висока міцність таких сталей ($\sigma_B = 600...2000$ МПа) досягається багатокомпонентним легуванням. Структура таких сталей в залежності від систем легування, умов охолодження та термічної обробки, як правило, феритно-перлітна, мартенситна або бейнітно-мартенситна.

3. Середньо- та високовуглецеві сталі зі змістом вуглецю більш, ніж 0,45...0,5%. Однак, підвищений вміст вуглецю значно ускладнює зварювання цих сталей, що пов'язано з виникненням кристалізаційних тріщин та утворенням гартівних структур.

Особливості сучасних технологій зварювання

Найчастіше всього при виготовленні зварних конструкцій з високоміцних сталей використовують механізоване або автоматизоване дугове зварювання. Режими зварювання, які при цьому використовуються, забезпечують охолодження металу ЗТВ (W6/5) з інтенсивністю від 10 до 38°C/с. Швидкості зварювання (VЗВ) при цьому зазвичай можуть змінюватися від 18 м/год до 50 м/год, що робить процес не достатньо продуктивним.

Однак в даний час все більшого застосування знаходять такі технології зварювання при яких використовуються концентровані джерела тепла. До них відносяться технології лазерного та гібридного лазерно-дугового зварювання. Такі технології дозволяють одержувати якісні зварні з'єднання при більш високих швидкостях зварювання, які можуть досягати 110 м/год. За рахунок цього продуктивність зварювання підвищується майже в 2 рази, що робить такий процес привабливим для промисловості. Але при цьому змінюються і швидкості охолодження металу швів і ЗТВ зварних зєднань.

На відміну від дугового зварювання вони можуть зростати до 100°C/с. Яким чином зміна умов охолодження металу ЗТВ буде позначатися на структурі, а відповідно і на механічних властивостях високоміцних сталей до теперішнього часу залишається не достатньо вивченими. Натомість на теперішній час відомо, що при даних процесах помітно в 3...4 рази зменшується ширина швів і ЗТВ та підвищується їх міцність та пластичність.

Гібридне лазерно-дугове зварювання

Гібридне лазерно-дугове зварювання, в якому використовується ефект поєднання двох теплових джерел енергії, одночасно діючих на виріб, що зварюється, являє собою поєднання лазерного випромінювання з плазмою дуги у середовищі захисного газу в одній робочій зоні. При цьому кожен з теплових джерел, що використовуються, доповнює інше.

Основними завданнями гібридного лазерно-дугового зварювання є як підігрів металу для отримання нероз'ємного з'єднання, так і удосконалення ТЦЗ для отримання оптимальної швидкості охолодження після зварювання, при якій не утворюються небажані гартівні структури.

З метою оптимізації параметрів зварювального процесу більшість технологічних експериментів при гібридному зварюванні присвячено вивченню взаємодії між дугою і лазерним випромінюванням, процесам стабілізації дуги та її прив'язки лазерним випромінюванням, визначенню впливу захисного газу, потужності дуги, швидкості зварювання і зварювального струму на зміну

глибини проплавлення. Вивчення особливостей гібридного процесу, їх впливу на формування зварних швів, можливих переваг і усунення недоліків лазерної і дугового складових є в даний час основним завданням технологів і дослідників [2].

У порівнянні з лазерним зварюванням, яке характеризується високою термічною локальністю дії на метал і високими швидкостями процесу, гібридне лазерно-дугове зварювання дозволяє знизити швидкість охолодження і, відповідно, впливати на процес кристалізації з метою формування в металі швів і ЗТВ оптимальних структур, які забезпечують не тільки міцність, але і тріщиностійкість зварних з'єднань.

Під поняттям «гібридний» спосіб зварювання треба мати на увазі такий спосіб зварювання, при якому лазерне випромінювання і електрична дуга діють в одну точку, і фізична сутність такої дії відрізняється від дії кожної зі складових. При окремому використанні порівняно малопотужних лазерного і дугового джерел, ні у одного з них не вистачає потужності для досягнення наскрізного проплавлення тонколистового металу. У разі їх спільної дії дуга «прив'язується» до місця дії лазерного випромінювання на виріб. Завдяки додатковому енерговкладу дуги, рух якої стабілізується лазерним випромінюванням і збільшення поглинальної здатності металу, забезпечується режим «кинджального» проплавлення. При цьому різко зростає об'єм переплавленого металу при збільшенні глибини провару, що дозволяє збільшити швидкість зварювання в 1,5...2 рази.

Враховуючи суттєві зміни технологічних режимів і геометричних розмірів зони зварювання, слід очікувати помітних змін структурно-фазових параметрів, які формуються в металі швів і ЗТВ зварних з'єднань, які, як відомо, багато в чому визначають експлуатаційні властивості зварних конструкцій. Тому вважаємо за доцільне провести дослідження структури, яка формуються при використанні нових способів зварювання, та визначити структурні фактори, які впливають на зміну механічних властивостей, а також вивчити які саме структурні параметри (фазовий склад, розмір зерна, субзерна, щільність дислокацій, частинки фазових утворень, тощо) сприяють найбільшому поліпшенню експлуатаційних властивостей зварних з'єднань. Для дослідження цих змін необхідно використовувати розширений комплекс експериментальних методів, який дозволив би оцінити структурні зміни на зеренному та дислокаційному рівнях і вивчити тонку структуру: її параметри і зміну щільності дислокацій в різних структурних складових.

Перелік посилань

1. Большаков В.І., Лаухін Д.В. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке : Монографія В. І. Большаков, Д. В. Лаухін. – Дніпропетровськ : «Свидлер А. Л.», 2011. 242 с.
2. Берднікова О.М. Структурні критерії міцності та тріщиностійкості зварних з'єднань високоміцних сталей : дис... докт. техн. наук: 05.02.01. Дніпро, 2020. 497 с.