

УДК 621.791.051.6

М.Б. Дранівська

Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна

ВПЛИВ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ ЗВАРЮВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРУ МЕТАЛУ ЗТВ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ

M.B Dranivska

THE INFLUENCE OF THE THERMAL CYCLES OF WELDING ON MECHANICAL PROPERTIES AND METAL STRUCTURE OF THE THERMAL IMPACT ZONE OF HIGH-STRENGTH STEELS

Вступ України до ВТО, зростаюча конкуренція на ринку металу і наслідки економічної кризи зумовлюють необхідність подальших досліджень у сфері розробок та використання нових матеріалів і технологій. Постійне збільшення обсягів виробництва і впровадження високоміцних сталей з мінімальними економічними витратами в різних галузях виробництва є актуальним завданням сьогодення.

Високоміцними конструкційними сталями називають сталі з межею плинності $\sigma_{0,2} \geq 355$ (МПа). Такі сталі повинні добре зварюватись, мати гарну пластичність та високий опір до крихкого руйнування. Необхідний комплекс властивостей забезпечується структурою та визначається легуванням і термічною обробкою. Оскільки умови нагрівання та охолодження металу при зварюванні істотно відрізняються від умов під час термічної обробки, тому при дослідженні здатності сталей до зварювання вивчають їх реакцію на термічний цикл зварювання (ТЦЗ).

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України досліджували вплив термічних циклів зварювання на структуру металу ЗТВ зварних з'єднань високоміцних сталей [1]. Експерименти проводили на пробах із конструкційних сталей S355j2 і S460M.

Дослідження дали змогу встановити, що на фазово-структурні перетворення сталей впливає не лише їх хімічний склад, а й умови охолодження металу. У високоміцних конструкційних сталях при малих швидкостей охолодження $W_{6/5}$ (швидкість охолодження в інтервалі температур 600-500°C), що не перевищують 10°C/c, перетворення аустеніту на ділянці перегріву металу ЗТВ відбувається переважно у феритній, перлітній та бейнітній ділянках з формуванням крупнозернистої структури [2]. Така структура забезпечує металу хороші пластичні властивості та границю плинності майже на рівні основного металу. Натомість ударна в'язкість металу на ділянці перегріву ЗТВ буде значно нижчою за аналогічні показники основного металу. При збільшенні швидкості охолодження металу ЗТВ структурні складові в ньому подрібнюються, і це сприяє зростанню границі плинності та характеристик ударної в'язкості. Пластичні властивості такого металу дещо зменшуються, але залишаються в рамках вимог до зварних конструкцій.

При $W_{6/5} \geq 15^\circ\text{C}/\text{c}$ на ділянці перегріву металу ЗТВ зварних з'єднань низьколегованих сталей починає утворюватися мартенсит. Зі збільшенням $W_{6/5}$ його частка в металі зростає і при $W_{6/5} \geq 100^\circ\text{C}/\text{c}$ досягає 100 %. Це сприяє суттєвому зміцненню металу, але його пластичні властивості та ударна в'язкість при цьому зменшуються, інколи істотно.

У високоміцних легованих сталях, на відміну від низьколегованих, навіть за відносно невеликих швидкостей охолодження ($W_{6/5} = 2\text{—}10^\circ\text{C}/\text{c}$) на ділянці перегріву металу ЗТВ утворюється змішана бейнітно-мартенситна структура, частка мартенситу в якій при $W_{6/5} = 10^\circ\text{C}/\text{c}$ може досягати 50%, а при $W_{6/5} \geq 20^\circ\text{C}/\text{c}$ — 100%. Утворення таких структур, з одного боку, сприяє значному зміцненню металу, а з іншого — підвищує його схильність до утворення холодних тріщин. Адже, як відомо [3], метал, що містить понад 50% мартенситу має низьку здатність опиратися зародженню та розвитку тріщин.

Формування структури в металі ЗТВ високоміцних сталей залежить від їх хімічного складу та швидкості охолодження металу після нагрівання. За структурний критерій оцінки схильності сталі до утворення холодних тріщин при зварюванні був взятий вуглецевий еквівалент сталі (Ce), який розраховували за наведеною нижче формулою та $W_{6/5}$.

$$Ce = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15,$$

де C, Mn, Cr, Mo, V, Ni та Cu — масові частки (%) вуглецю, марганцю, хрому, молібдену, ванадію, нікелю та міді відповідно.

За результатами дослідження були встановлені умови, за яких ризик утворення холодних тріщин у зварних з'єднаннях зводиться до мінімуму.

При обмеженні $W_{6/5}$ до $10^\circ\text{C}/\text{с}$, а вмісту дифузійного водню в наплавленому металі до $4\text{см}^3/100\text{ г}$ рівень напружень, який метал ЗТВ зварних з'єднань зі сталей з вуглецевим еквівалентом $Ce = 0,35-0,45\%$ може витримати без утворення холодних тріщин, становить $0,9\sigma_{0,2}$. Зі зростанням Ce вимоги щодо допустимого рівня залишкових напружень у зварних з'єднаннях зростають. При $Ce = 0,45-0,55\%$ вони не повинні перевищувати $0,7\sigma_{0,2}$, а при $Ce = 0,60-0,70\%$ — $0,5\sigma_{0,2}$ металу ЗТВ.

Запобігти утворенню холодних тріщин у металі ЗТВ зварних з'єднань, що охолоджувалися зі швидкістю $W_{6/5}$ більшою, ніж $25^\circ\text{C}/\text{с}$, та за вмісту дифузійного водню в наплавленому металі на рівні $16\text{ см}^3/100\text{ г}$, можна за умов, коли рівень залишкових напружень у з'єднаннях сталей з Ce $0,35-0,55\%$ не перевищує $0,4\sigma_{0,2}$, а сталей з Ce понад $0,70\%$ — $0,2\sigma_{0,2}$. Для ефективного регулювання швидкості охолодження з'єднань перед зварюванням їх підігрівають до певної температури, величину якої встановлюють експериментально.

За результатами наведених вище досліджень та з урахуванням встановлених особливостей структуроутворення в металі ЗТВ нових мікролегованих конструкцій сталей класу міцності С355—С490 було розроблено низку технологій їх зварювання, які в останні роки було впроваджено на підприємствах України при виготовленні металевих конструкцій. Зокрема, покриття на НСК «Олімпійський» у м. Києві зроблено зі сталі класу міцності С355, що виготовляється за EN10025-2 (марка S355J2); прогінні споруди Подільського мостового переходу в м. Києві виготовлено зі сталі класу міцності С490 (марка 06Г2Б); для виготовлення вагонів платформ для залізничного перевезення 40-фунтових контейнерів уперше на теренах країн СНД використано сталь класу міцності С460 (марка 10Г2ФБ) [4].

Отже, виготовлення металоконструкцій з високоміцних конструкцій сталей за новітніми технологіями зварювання, дозволить зменшити їх питому металоемності, збільшити міцності, довговічності та конкурентну спроможність готової продукції.

Література

1. Позняков В.Д. Технології зварювання для виготовлення і ремонту металевих конструкцій із високоміцних сталей. Вісник НАН України, 2017, № 1 С.64-70.
2. Позняков В.Д., Жданов С.Л., Максименко А.А. Структура и свойства сварных соединений стали С390 (S355J2). Автоматическая сварка. 2012. № 8. С. 7—11.
3. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981.
4. Позняков В.Д., Жданов С.Л., Синеок А.Г., Максименко А.А. Опыт применения стали S355J2 в металлоконструкциях перекрытия над НСК «Олимпийский» (г. Киев). Автоматическая сварка. 2011. № 6. С. 54—55.