

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Багров В. А., Сумченко О. В., Яременко В. Є.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуто позитивний вплив параметрів двоструменевого газового захисту під час зварювання електродом, що плавить, на хімічний склад, мікроструктуру та властивості зварних з'єднань зі сталей, схильних до загартування. Визначено, що розроблений спосіб зварювання електродом легованих сталей забезпечує зменшення хімічної та структурної неоднорідності в з'єднаннях, надійну стабільну якість і необхідні механічні властивості зварних.

Ключові слова: сталь, зварювання, леговані сталі, міцність, структура сталей.

Вступ

Середньовуглецеві леговані сталі мають високий комплекс експлуатаційних властивостей і використовуються для виробництва відповідних зварних конструкцій. Вони забезпечують високу міцність конструкції за одночасного зниження її металоємності.

Однак під впливом термічного циклу зварювання в зоні термічного впливу (ЗТВ) зварних сполук формуються загартовані структури, що визначаються великими значеннями твердості за низьких в'язкостей. Тому ЗТВ має найбільшу частку холодних тріщин, що утворюються в процесі зварювання.

Для запобігання утворенню холодних тріщин і підвищення рівня експлуатаційної надійності зварних конструкцій зі сталей, схильних до загартування, зазвичай здійснюють додаткові операції, що ускладнюють технологічний процес і збільшують витрати на виготовлення зварних конструкцій.

У вітчизняній та зарубіжній практиці з цією метою застосовують попередній підігрів і зварювальне термооброблення. Така технологія зварювання дозволяє знизити швидкість охолодження металу шва та ЗТВ, збільшити час протікання структурних перетворень у зварному з'єднанні [1].

Процеси застосування попереднього підігріву та термооброблення мають додаткові витрати різноманітних ресурсів.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є вдосконалення процесу зварювання електродом, що плавиться, у середовищі захисних газів і дослідження структури та властивості нероз'ємних сполук.

Для досягнення цієї мети були визначені такі завдання:

1) проаналізувати ступінь впливу струменя активного захисного газу на хімічний склад і геометрію металу шва;

2) дослідити основні закономірності формування структури та властивостей нероз'ємних сполук залежно від технологічних параметрів зварювання електродом, що плавиться, з двоструменевим газовим захистом, що забезпечує стабільність високих експлуатаційних властивостей.

Вплив технологічних параметрів зварювання плавленням у струминному газовому захисті на властивості зварних з'єднань

До конструкційних легованих належать сталі, леговані одним або декількома елементами за сумарного вмісту 2,5–10 %.

Для сучасних легованих сталей визначальним є багатокомпонентне комплексне легування, що дозволяє одержувати сталі з високими механічними властивостями. Застосовувані для зварних конструкцій леговані сталі здебільшого належать до перлітного класу.

Високі механічні властивості конструкційних легованих сталей досягаються легуванням елементами, що зміцнюють ферит і підвищують ними прожарювання сталі, і належним термічним обробленням, після якого проявляється позитивний вплив легувальних елементів.

Тому сталі цієї групи піддають поліпшенню гартуванням з наступною відпускою. За високих властивостей міцності леговані сталі після термічного оброблення за пластичністю та і в'язкістю не поступаються, а в деяких випадках навіть є кращими за такий пластичний матеріал, як низьковуглецева сталь.

Конструкційні леговані сталі використовують для створення полегшених високоміцних зварних конструкцій. Однак не всі конструкційні леговані сталі добре або задовільно зварюються.

Чим більше сталь легована хімічними елементами (зокрема вуглецем), що сприяють утворенню тендітної структури мартенситу в термічному циклі зварювання, тим гірше її зварюваність за інших однакових умов (метод виплавки, тип з'єднання, товщина деталі, що зварюється, тощо).

Для конструкційних середньовуглецевих легованих сталей визначальною особливістю є утворення гартових структур у шві й ЗТВ, що створюють небезпеку крихкого руйнування. Опір сталі, що зварюється, утворенню холодних тріщин залежить від багатьох факторів і визначається особливостями технологічного процесу зварювання та властивостями основного й присадочного металів.

До сталей цього класу належить сталь 30ХГСА. Вплив різноманітних методів і способів зварювання на її експлуатаційні властивості є цікавим об'єктом дослідження з метою визначення найкращих технологічних параметрів та умов зварювання, що забезпечують якісне рівномірне формування зварних з'єднань, і розроблення ресурсозберігальної технології зварювання.

За результатами комплексу проведених досліджень розроблено спосіб багатошарового зварювання легованих сталей з двоструменевим газовим захистом зони зварювання без підігріву та подальшого термооброблення.

Розроблений спосіб зварювання забезпечує стійкість внутрішнього струменя газу, що подається, надійний захист зони зварювання, знижує завихрення газу в навколошовній зоні. Управління динамічним впливом внутрішнього струменя захисного газу на процеси в зоні зварювання, рідкий метал краплі електродного металу та зварювальної ванни призводять до зміни процесів тепломасоперенесення в зоні зварювання й інтенсивного перемішування розплавленого електродного металу з основним у зварювальній ванні.

Збільшується швидкість закінчення газу та скорочується час перебування металу шва та ЗТВ в області високих температур. Зовнішній кільцевий струмінь блокує завихрення газу біля поверхні виробу, що зварюється, і забезпечує надійний захист зони зварювання від шкідливого впливу повітря.

Для порівняльного аналізу експлуатаційних властивостей зварних з'єднань з легованої сталі 30ХГСА були проведені експериментальні дослідження [2] із застосуванням таких способів зварювання:

1) базовий (традиційний) – зварювання стаціонарною дугою з попереднім підігрівом до температури 350 °С та подальшим термічним обробленням за температури 600 °С;

2) розроблений – зварювання стаціонарною дугою з двоструменевим газовим захистом без попереднього нагрівання та термічного оброблення.

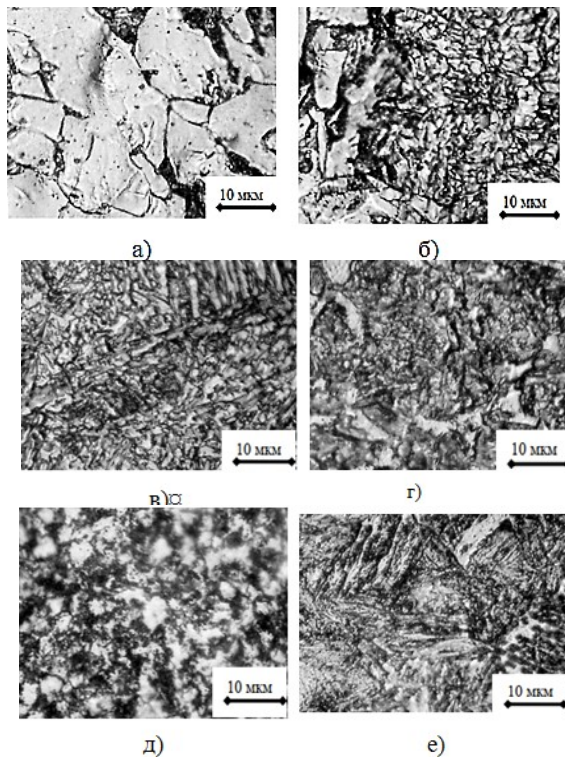
У кожному випадку виробляли механізоване багатопрхідне зварювання поворотного стику труби діаметром 90 мм з товщиною стінки 20 мм в середовищі CO₂ в щільне оброблення шириною 8 мм зварювальним дротом Св-08Г2С діаметром 1,2 мм. Для зварювання зразків використовували джерело живлення ТДФЖ-1000, автоматичну зварювальну головку А-1420. Режими зварювання зразків за традиційним способом визначили на основі аналізу залежності механічних характеристик багатошарових зварних з'єднань сталі 30ХГСА від параметрів термічного циклу зварювання ($T_{\text{под}}$ – температура попереднього підігріву; $T_{\text{то}}$ – температура наступного термічного оброблення; $I_{\text{зв}}$ – сила зварювального струму) [3]. Для зварювання зразків за I і II способами було вибрано режим $I_{\text{зв}} = 180\text{--}185$ А, $U_{\text{д}} = 26\text{--}27$, $V_{\text{зв}} = 14\text{--}15$ м/год, $Q_{\text{г}} = 10\text{--}11$ л/хв.

Дослідження мікроструктури здійснювали на зразковому мікроскопі НЕОРНОТ-21, а вимірювання мікротвердості – на ПМТ-3.

Оброблення експериментальних результатів здійснювалось методами математичної статистики.

Під час металографічних досліджень зразків, зварених I способом, було визначено, що метал шва (рис. 1, а) має крупнозернисту ферито-перлітну структуру. У зоні сплавлення (рис. 1, б) наявний перехід від металу шва до основного (ділянка неповного розплавлення). Ділянка неповного розплавлення (рис. 1 в) – видманштеттова структура. Чітко видно межу колишніх аустенітних зерен. Структура ділянки перегріву (рис. 1, г) є відпущеною бейнітною структурою з феритними зернами.

Укрупнена структура ділянки нормалізації (рис. 1, д) доводить суттєве тепловкладення (термооброблення). Мікроструктура основного металу (рис. 1, е) містить голчасті зерна фериту та перліту.



а – метал шва; б – зона сплавлення; в – ділянка неповного розплавлення; г – ділянка перегріву; д – ділянка нормалізації; е – основний метал

Рис. 1. Мікроструктура зварного з'єднання зі сталі 30ХГСА, отриманого першим способом. Збільшення $\times 400$

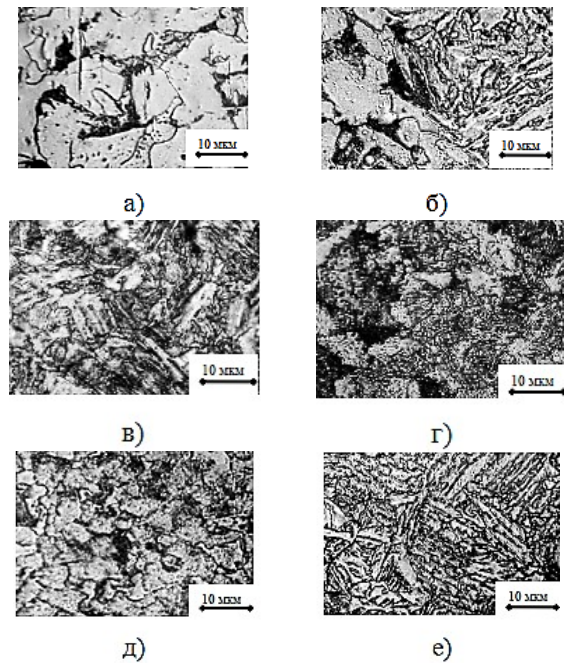
На рис. 2 наведена мікроструктура зразка, звареного II-м способом. Структура металу шва є сумішшю зерен фериту та перліту (рис. 2, а).

Перехід від наплавленого металу до основного в зоні сплавлення (рис. 2, б) свідчить про достатнє перемішування розплавленого металу в зварювальній ванні. Це забезпечує високу працездатність зварних з'єднань. На ділянці неповного розплавлення (рис. 2, в) виявлені феритні зерна на витягнуту форму.

Структура ділянки перегріву, наведена на рис. 2, г, є визначальною імовірноше для бейнітної структури з феритними проша-рками.

Для структури ділянки нормалізації (рис. 2, д) визначальними є дрібні рівновісні зерна фериту. Основний метал (рис. 2, е) має голчасту форму зерен фериту та перліту.

На рис. 3 наведено графік зміни мікротвердості в перерізі зварного з'єднання, отриманого I способом. Вимірювання здійснювали на відстані 5 мм від верхньої поверхні зварного з'єднання. На графіку зазначено, що мікротвердість у ЗТВ має більше значення на відміну від інших ділянок [4].



а – метал шва; б – зона сплавлення; в – ділянка неповного розплавлення; г – ділянка перегріву; д – ділянка нормалізації; е – основний метал

Рис. 2. Мікроструктура зварного з'єднання зі сталі 30ХГСА, отриманого другим способом. Збільшення $\times 400$

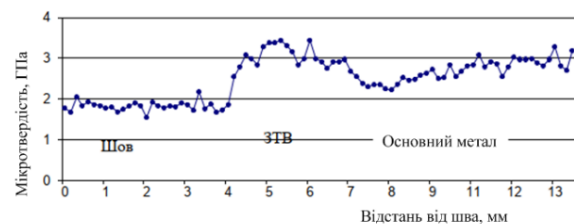


Рис. 3. Зміна мікротвердості в перерізі зварної сполуки, здійсненого I способом

Середні значення мікротвердості металу шва, зони термічного впливу та основного металу дорівнюють 1824, 3091, 2823 МПа. Відносна похибка становить $\pm 5\%$.

На рис. 4 наведено зміну мікротвердості в перерізі зварного з'єднання, отриманого зварюванням з двоструменевим газовим захистом. Вимірювання здійснювали з відривом 5 мм від верхньої поверхні зварного з'єднання.

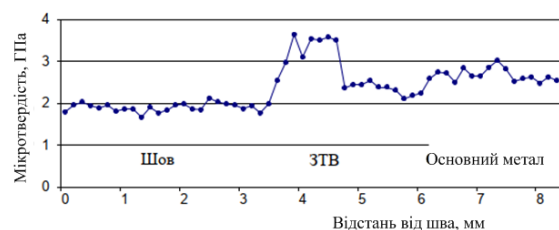
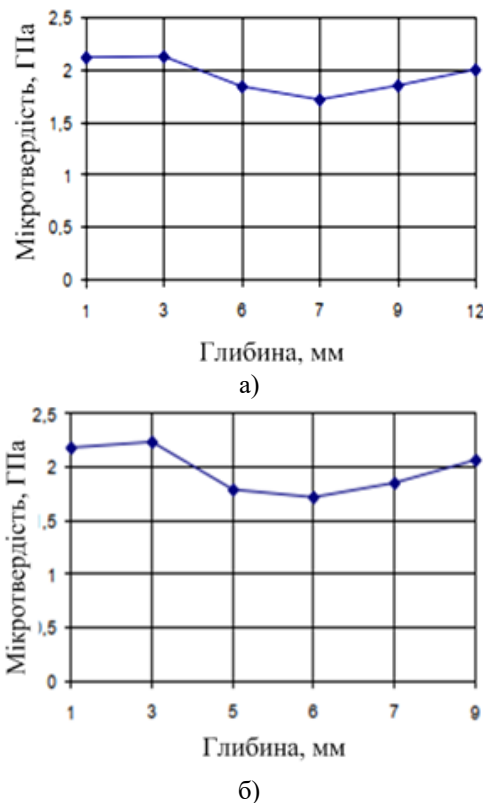


Рис. 4. Зміна мікротвердості в перерізі зварної сполуки, отриманого II способом

На рис. 4 зазначено, що мікротвердість у ЗТВ також підвищується нам відміну від інших ділянок, наприклад щодо основного металу вона підвищилася орієнтовно на 19 % з огляду на похибки вимірювань. Середні значення мікротвердості металу шва, зони термічного впливу та основного металу дорівнюють 1952, 3481, 2913 МПа. Відносна похибка становить $\pm 7\%$.

На рис. 5 наведено зміну мікротвердості в багатошарових з'єднаннях вздовж осі металу шва залежно від його глибини. Підвищені значення мікротвердості облицювальних шарів та її зниження в середніх шарах зварних з'єднань пов'язані з ефектом автотермооброблення в багатошарових з'єднаннях. Високі значення мікротвердості в кореновому шві обумовлено значною часткою основного металу.



а – I спосіб; б – II спосіб

Рис. 5. Розподіл мікротвердості вздовж осі зварного шва залежно від його глибини

Під час аналізу отриманих залежностей було визначено, що зі збільшенням витрати захисного газу зменшуються межа плинності й ударна в'язкість зварних зразків, знижується вміст марганцю в металі зварного шва. Збільшення швидкості зварювання призводить до збільшення ударної в'язкості KCV за

+200 С та до її зниження за -400 С , підвищення вмісту марганцю та зниження хрому в металі зварного шва. Збільшення струму зварювання у вибраному діапазоні збільшує тимчасовий опір розриву зварних зразків, вміст кремнію та марганцю в металі зварного шва. Для всіх механічних якостей зварних зразків значним є спільний вплив струму та швидкості зварювання. Вміст вуглецю в металі шва багатошарових зварних з'єднань зі сталі 30ХГСА від керованих параметрів режиму зварювання не залежить.

Висновки

За результатами проведених досліджень було визначено:

- зварювання легованих сталей із двоструменевим газовим захистом у середовищі CO_2 призводить до утворення стабільних ферито-перлітних структур у металі шва з розміром зерен меншим, як порівняти зі структурою, отриманою традиційним способом зварювання;

- механічні властивості зразків, утворених зварюванням із двоструменевим газовим захистом (статична межа міцності, мікротвердість металу шва та зони термічного впливу), мають більш високі значення, як порівняти з механічними властивостями зразків, отриманих в процесі зварювання традиційним способом;

- зварювання з двоструменевим газовим захистом у середовищі CO_2 є найбільш раціональним, що забезпечує більш високі механічні властивості зварних з'єднань на 5–6 % без попереднього підігріву та подальшого термооброблення і є ресурсо- та енергозберігальним;

- варіація технологічних параметрів зварювання з двоструменевим газовим захистом має цілеспрямований вплив на механічні властивості зварних з'єднань, геометрію та хімічний склад зварного шва, що дозволяє керувати експлуатаційними властивостями зварних з'єднань.

Література

1. Афтандіянц С. Г. Вплив водню на якість сталевих виробів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10 No 2. P. 13–22.
2. Особливості зварності сталі 30ХГСА / В. М. Палаш та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27. № 9. С. 68–72.
3. Романів В. Є., Лазарюк В. В. Особливості застосування сумішей захисних газів при напівавтоматичному зварюванні плавким електродом. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб.

тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) Тернопіль: ТНТУ, 2020. С.18–19.

4. Дослідження механічних властивостей зварних з'єднань конструкційних сталей / В. Д. Макаренко та ін. Проблеми тертя та зношування. 2020. № 1 (86). С. 51–60. DOI: 10.18372/0370-2197.1(86).14487.

References

1. Aftandiliants, Ye. H. (2019). Vplyv vodniu na yakist stalevykh vyrobiv. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10 No 2. R. 13–22.
2. Palash, V. M., Dziubyk, A. R., Khomych, I. B., Fedyk, Yu. V. (2017). Osoblyvosti zvarnosti stali 30KhHSA. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. T. 27. № 9. S. 68–72.
3. Romaniv, V. Ye., Lazariuk, V. V. (2020). Osoblyvosti zastosuvannia sumishei zakhysnykh haziv pry napivavtomatyznomu zvariuvanni plavkym elektrodom. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii: zb. tez dopovidei mizhnar. nauk.-tekhn. konf. molodykh uchenykh ta studentiv (Ternopil, 25–26 lystop. 2020.) Ternopil: TNTU, 2020. S.18–19.
4. Makarenko, V. D., Fedoryna, T. P., Ikalchik, I. M., Petrenko, O. O., Taraborkin, L. A. (2020). Doslidzhennia mekhanichnykh vlastyvostei zvarnykh ziednan konstruktciynykh stalei. Problemy tertia ta znoshuvannia. № 1 (86). S. 51–60. DOI: 10.18372/0370-2197.1(86).14487.

Багров Валерій Анатолійович, к.т.н., доц. каф. технології металів та матеріалознавства, havetabanca@ukr.net, тел. +38 068-343-71-96,

Сумченко Олександр Володимирович, аспірант каф. технології металів та матеріалознавства, тел. +38 050-856-25-43, alexsumchenko@gmail.com,

Яременко Владислав Євгенійович, магістр гр. МС-61-24 каф. технології металів та матеріалознавства, тел. +38 095-84-10-138, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, Україна.

Influence of welding modes on the structure and properties of alloy steels

Problem. To prevent the formation of cold cracks and increase the operational reliability of welded structures made of steels susceptible to hardening, as a rule, additional operations are used, which complicate the technological process and increase the cost of manufacturing welded structures. In domestic and foreign practice, preheating and post-welding heat treatment are widely used for this purpose. This welding technology allows you to reduce the cooling rate of the weld metal and HAZ, and increase the time for structural transformations in the welded joint. **Methodology.** The degree of influence of the active shielding gas jet on the chemical

composition and geometry of the weld metal was determined, and the main patterns of formation of the structure and properties of non-separable joints were investigated depending on the technological parameters of welding with a consumable electrode with double-jet gas protection, under which the stability of high operational properties is ensured. **Originality.** Analysis of the obtained dependencies showed that with increasing shielding gas consumption, the yield strength and impact toughness of welded samples decrease, and the manganese content in the weld metal decreases. An increase in welding speed leads to an increase in the impact toughness KCV at +200 C and to its decrease at –400 C, an increase in the manganese content and a decrease in chromium in the weld metal. An increase in welding current in the selected range increases the temporary resistance to rupture of welded samples, the content of silicon and manganese in the weld metal. For all mechanical properties of welded samples, the joint effect of current and welding speed is significant. The carbon content in the weld metal of multilayer welded joints made of 30KhGSA steel does not depend on the controlled parameters of the welding mode. **Practical value.** According to the results of the conducted research, it was established: - welding of alloy steels with double-jet gas protection in a CO₂ environment leads to the formation of stable ferrite-pearlite structures in the weld metal with a smaller grain size compared to the structure obtained by the traditional welding method. The mechanical properties of samples made by welding with double-jet gas protection (static tensile strength, microhardness of the weld metal and heat-affected zones) have higher values compared to the mechanical properties of samples obtained by welding by the traditional method. Welding with double-jet gas protection in a CO₂ environment is the most rational, i.e. it provides higher mechanical properties of welded joints without preheating and subsequent heat treatment and is resource- and energy-saving. Variation of technological parameters of welding with double-jet gas protection has a targeted effect on the mechanical properties of welded joints, geometry and chemical composition of the weld. i.e. allows you to control the operational properties of welded joints.

Key words: steel, welding, alloy steels, strength, steel structure.

Bagrov Valeriy, Ph.D., Associate Professor, Department of Metal Technology and Materials Science, havetabanca@ukr.net, tel. +38 068-343-71-96

Sumchenko Oleksandr, postgraduate student of the Department of Metal Technology and Materials Science, tel., +38 050-856-25-43, alexsumchenko@gmail.com,

Yaremenko Vladyslav, mahistr hr. MS-61-24 kaf. tekhnolohii metaliv ta materialoznavstva, tel. +38 095-84-10-138, vladyslav.yaremenko95.vy@gmail.com Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

