

УДК 621.791

Сливінський О.А., Олещук Д.Ю.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

ЗВАРНІСТЬ ВИСОКОМІЦНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ

Наведено основні проблеми зварності високоміцних титанових сплавів та шляхи їх вирішення в контексті сучасного стану розвитку зварювальних технологій. Освітлено найбільш перспективні і ефективні напрямки покращення зварності високоміцних титанових сплавів.

Ключові слова: високоміцні титанові сплави; способи зварювання; зварність; рівноміцність; гібридне зварювання; концентровані джерела зварювальної енергії

Для задоволення потреб сучасного машинобудування, а саме більшого строку експлуатації конструкцій, підвищення їх міцності та корозійної стійкості створюють і успішно використовують матеріали зі спеціальними функціональними властивостями, до яких відносяться високоміцні $\alpha+\beta$ -сплави титану. Виготовлення зварних конструкцій з цих сплавів вимагає нестандартних конструкторських та інженерних рішень.

Аналіз сучасних робіт в галузі зварювання високоміцних титанових $\alpha+\beta$ -сплавів дозволив встановити такі головні складності, що виникають при зварюванні: утворення хімічної і структурної неоднорідності металу шва і ЗТВ, збільшення міцності та зниження пластичності металу шва в порівнянні з основним металом, зменшення корозійної стійкості зварних з'єднань.

Шляхами вирішення цих проблем зварності високоміцних $\alpha+\beta$ -сплавів титану можуть бути наступні: застосування присадних матеріалів з відповідною системою легування; термічна і/або термомеханічна обробка зварних з'єднань з використанням пластичної деформації та попереднього потов-

Використання багатоступеневої термообробки дозволяє досягти вирівнювання хімічного складу металу шва по перерізу та розчинення інтерметалідних фаз, що можуть виділятися при зварюванні, а також сприяє релаксації залишкових напружень. Значного підвищення міцності можна досягти при використанні загартування або низькотемпературного старіння (одно- або двохступінчатого). Для деяких сплавів зміцнюючою термообробкою є відпал.

Термомеханічна обробка з пластичною деформацією під тиском або баротермомеханічна обробка (БТМО) зварних з'єднань, за відповідними режимами, дозволяє покращити механічні властивості (рис. 1), проте вона більш складна у виконанні. При такій обробці змінюють ступінь обтиснення $\epsilon_{\text{тп}}$ від 10 до 65% і температуру деформації $T_{\text{деф}}$ від 0 до 1100°C. Так, міцність зростає у всьому температурному інтервалі, а пластичні властивості зростають в інтервалі від 0 до 700 °C, потім дещо спадають. Це пояснюється формуванням полігональної структури з рівномірно розподіленою α -фазою тонкопластинчастої морфології. Загалом ТО дає можливість частково або повністю усунути негативні наслідки

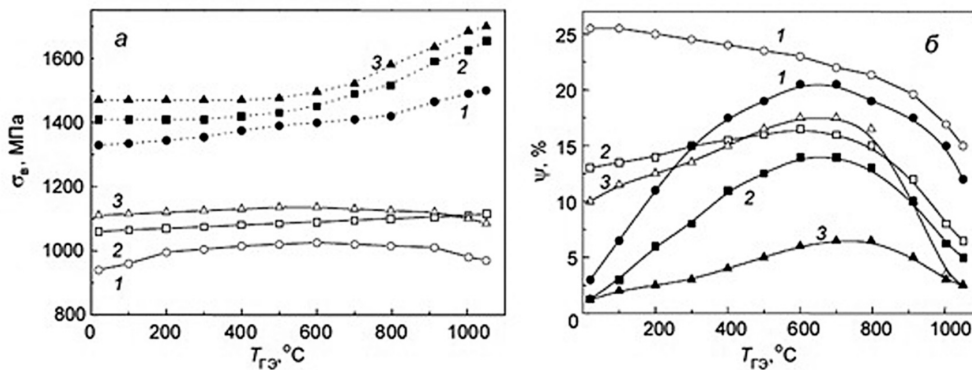


Рисунок 1. Механічні властивості σ_y (а) і ψ (б) сплаву VT22 після загартування з β -області (950 °C) і обробки по режимах БТМО: кр. 1 – $\epsilon_{\text{тп}}=10\%$; кр. 2 – 35%; кр. 3 – 65%; суцільна крива – після гідропресування, пунктирна – після гідропресування і наступного старіння (575 °C, 2 год)

Рис. 1. Корреляционные зависимости между вероятностями появления и превышения диаметра пор 1,5 мм и массой воды, введенной на единичный участок сварного шва.

щення зварюваних крайок, а також використання комбінованих гібридних способів зварювання.

Зварювальні матеріали з невеликим додаванням нейтральних зміцнювачів титану, дозволяють отримати зварні шви з меншим вмістом домішок вкорінення таких як кисень, збільшуючи його розчинність в металі шва, і відповідно підвищити пластичність і ударну в'язкість шва. Для $\alpha+\beta$ -сплавів слід зменшувати ступінь легування металу шва в порівнянні з основним металом, що знизить пересиченість α' -фази і підвищить пластичність зварних з'єднань [1].

термічного циклу зварювання та встановити рівень рівномірності металу шва максимально наближений до основного металу [1, 3, 4].

Виготовлення конструкцій з потовщенням крайок в місцях розташування швів – трудомісткий і коштовний процес. Потовщення крайок отримують шляхом зменшення товщини поверхні заготовок механічною обробкою або хімічним фрезеруванням. В кожному випадку втрати металу великі. Наявність потовщення крайок знижує ефективність застосування високоміцних сплавів, так як збільшується маса конструкції. Для виготовлення

конструкцій по такій схемі придатні всі способи зварювання титану, однак перевага надається тим, які мають зменшене тепловкладення, оскільки розміри потовщення переважно залежать від ширини ЗТВ. Зварювання на потовщених крайках вимагає обов'язкового використання місцевого післязварю-

При використанні гібридних способів зварювання, а саме лазерно-дугового, з'являється можливість виконання однопрохідного зварювання товстого металу, що збільшує продуктивність зварювального процесу і при цьому вкладається менше теплової енергії, ніж при багатопрохідному зварю-

Таблиця 1.

Механічні властивості сплаву Т110 і його зварних швів, виконаних лазерно-дуговим зварюванням [2]

| Матеріал | Межа міцності, МПа | Межа пластичності, МПа | Відносне подовження, % | Відносне звуження, % | Ударна в'язкість, Дж/см ² | |
|--|--------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----|
| | | | | | Шов | ЗТВ |
| Основний метал Т110 ($\delta=13\text{мм}$) | 1130 | 999 | 6 | 5 | 38 | |
| Зварне з'єднання | | | | | | |
| Лазерно-дугове | 1180 | — | — | — | 15 | 23 |
| лазерне | 1131 | — | — | — | 6 | 13 |

вального відпалу [1]. Зварювання на прохід має значні технологічні і металургійні переваги перед багат шаровим зварюванням. Не дивлячись на те, що при таких способах зварювання регулювати хімічний склад шва значно важче, наявні практичні дані свідчать про те, що при цьому, в багатьох випадках властивості зварних з'єднань знаходяться на достатньо високому рівні при хімічному складі шва, близькому до складу основного металу.

Використання високоенергетичних способів зварювання, електронно-променевого або лазерного, не завжди гарантує задовільні результати, через імовірне утворення пор і незадовільного формування опуклості шва. Метал шва має характерну дендритну будову та субструктурну неоднорідність, на фоні якої спостерігаються рівновісні або витягнуті в напрямку тепловідведення первинні β -зерна [2].

Одним з найбільш перспективних способів зварювання високоміцних титанових сплавів на прохід, є аргонодугове зварювання з використанням галогенідних флюсів (TIG-F). Воно дозволяє отримати повне проплавлення листів товщиною понад 10 мм при зменшенні погонної енергії порівняно зі звичайним аргонодуговим зварюванням майже в 2 рази. Також значно зменшуються розміри ЗТВ і рівень залишкових деформацій. Але, окрім характеристик притаманних високоенергетичним способам зварювання, зварювання по флюсу усуває імовірність утворення пор – головною причиною яких є водень. Вагома перевага TIG-F зварювання перед висококонцентрованими способами є відсутність необхідності використання високотехнологічного коштовного обладнання: джерел лазерного випромінювання, електронно-променевих гармат, вакуумних камер, тощо [1, 3].

При лазерно-дуговому зварюванні, яку шві, так і в зоні термічного впливу не спостерігається субструктури, мікроструктура більш рівновісна і однорідна, що позитивно впливає на пластичні властивості зварного з'єднання (в табл. 1 приведені механічні властивості сплаву Т110 до і після лазерно-дугового зварювання). При такому способі зварювання пори відсутні [2].

Як можна бачити, межа міцності зварних з'єднань високоміцного титанового сплаву Т110 виконаних лазерним і лазерно-дуговим зварюванням на 2-4 % більші значень межі міцності основного металу, що пояснюється наявністю в металі шва дендритної структури, характерної для литого металу. Значення ударної в'язкості задовільні [2]. Виходячи з вищесказаного, покращення зварності високоміцних $\alpha+\beta$ -сплавів титану досягається різними технологічними способами. Доцільність використання того чи іншого технологічного прийому диктується маркою сплаву, способом зварювання, конструктивними особливостями зварюваних деталей, та ін.

Висновки

1. У зв'язку зі специфічними фізико-металургійними та хімічними властивостями високоміцних титанових сплавів, їх зварювальна обробка вимагає використання додаткових технологічних прийомів.
2. Покращення пластичних властивостей зварного шва можна досягти шляхом металургійної обробки зварювальної ванни, застосуванням термообробки, висококонцентрованих джерел зварювального нагрівання, галогенідних флюсів.
3. Застосування TIG-F зварювання має значні техніко-економічні переваги перед електронно-



променевим і лазерним зварюванням, так як не потребує використання високотехнологічного обладнання.

4. Позитивні результати, з отримання міцнісних і пластичних властивостей зварних з'єднань з'являються при використанні гібридних лазерно-дугових способів зварювання.

5. Для комплексного покращення зварності високоміцних титанових сплавів вважається доцільним поєднувати технологічні прийоми, які дозволяють більш повно реалізувати потенціал використання цих сплавів.

Література

- [1] Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. Гуревич С.М., Замков В.Н., Блащук В.Е и др. – 2-е изд., доп. и перераб. – К.: Наук.думка, 1986. – 240 с.
- [2] Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Ахонин С.В. и др. Особенности лазерно-дуговой сварки титановых сплавов. Автомат.сварка. –2012. – №12. – С. 36-40.
- [3] Сварка высокопрочных титановых сплавов. Гуревич С.М. – М.: «Машиностроение», 1975. – 150 с.
- [4] Эфрос Н.Б., Лоладзе Л.В., Эфрос Б.М., Тютенко В.С. Баротермомеханическая обработка высокопрочных титановых сплавов. Известия высших учебных заведений. Физика. – 2007. – №11. – С. 96-100.

Slivinskiy A.A., Oleshchuk D. Yu.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ukraine, Kyiv

WELDABILITY OF HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOY AND WAYS TO IMPROVE

Been given the main problem weldability of high-strength titanium alloys and their solutions in the context of the current stat of development of welding technology. Lighted most promising and effective are as for improvement weldability of high-titanium alloys.

Keywords: high-strength titanium alloys; methods of welding; weldability; the same strength; hybrid welding; concentrated source welding energy

References

- [1] Metalyrgia i teckhnologiasvarkititana i egosplavov. Gurevich S.M., Zamkov V.N., Blashchuk V.E., i dr. – 2-izd, dop. pererab. – K. Nayk. Dymka. 1986. c – 240.
- [2] Sheliagin V.D., Haskin V.U., Ahonin S.V., i dr.Osobenosti lazerno-dygovoi titanovihsplavov. Avtomaticheskayasvarka. – 2012. – №12. – С. 36–40.
- [3] Svarkavisokoprochnihtitanovuhsplavov. Gurevich S.M. – Moskva. «Mashinostroenie». 1975. 150 c.
- [4] Efros N.B., Loladze L.V., Efros B.M., Tytenko V.S.Barotermomekhanicheskayaobrabotkavusokoprochnuhtitanovuh-splavov. Izvestiyavushuhychebnihzavedeniy. Fizika. – 2007. – №11. – С. 96–100.