

УДК 621.79

Е. А. Джур, С. И. Мамчур, И. А. Мамчур,
Т. В. Носова, М. В. Могила, А. О. Наливайко

Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТОСТРОЕНИЯ

Вивчено фізичні основи, сфери застосування і перспективи використання методів зварювання матеріалів у твердій фазі. Значну увагу приділено питанням теорії і практики іонопроменевого зварювання, розглянуто методи плазмової обробки металів, наплавлення, пайки, їх особливості, сфери застосування, обладнання.

Ключові слова: пірографіт, дифузійна зона, мікроструктура.

Изучены физические основы, области применения и перспективы использования методов сварки материалов в твердой фазе. Значительное внимание уделено вопросам теории и практики ионнолучевой сварки, рассмотрены методы плазменной обработки металлов, наплавки, пайки, их особенности, области применения, оборудование.

Ключевые слова: пирографит, диффузионная зона, микроструктура.

Study of physical fundamentals, applications and perspectives use of the methods of solid phase welding. Considerable attention is paid to the issues of theory and practice ion beam welding, discussed methods for plasma processing metals, welding, soldering their features, applications, and equipment.

Key words: pirografit, diffusive area, microstructure.

Введение. В процессе разработки технологии диффузионной сварки графита со сталью и оптимизации ее параметров, основное внимание уделялось выбору материала промежуточной прокладки, имеющей КТР, близкий к КТР соединяемых материалов, обеспечивающей снижение уровня остаточных напряжений и повышение прочности сварного соединения.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов термического расширения для разных температур пирографита ПГИ, 15X28-ВИ и стали 12X18Н10Т, из которых видно, что во всем интервале температур до 1000 °С эти материалы имеют большое различие в КТР. Поэтому непосредственная сварка этих материалов приведет к возникновению высоких внутренних напряжений в переходной зоне сварного соединения и появлению микротрещин.

Постановка задачи. Выбор промежуточной прокладки для диффузионного соединения ПГИ и 12X18Н10Т проводился с учетом требований на стойкость в коррозионной среде и улучшение свариваемости согласно диаграмм состояния.

Испытание выбранных материалов промежуточных прокладок в эксплуатационных средах показали, что наиболее стойкой является сталь 15X28-ВИ. Анализ физико-механических свойств стали 15X28-ВИ показал, что хромистая сталь ферритного класса с содержанием 0,15 % С и 28 % Сг имеет повышенную пластичность при температуре выше 1000 °С. Стали с содержанием 25–35% Сг обладают высокой коррозионной стойкостью, имеют КТР равный $(9-12) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ в интервале температур 20–1000 °С и сохраняют неизменной свою в основном α -ферритную структуру кристаллов при нагреве до 1200 °С и выше и следовательно их КТР не претерпевает при этом никаких изменений. При взаимодействии с графитом и образовании переходного слоя в следствии диффузионного проникновения в среду

Таблиця 1

Зависимость коэффициентов термического расширения от температуры

Температура, °С	Величина КТР $10^{-6} 1/°\text{C}$		
	12X18H10T	15X28-ВИ	ПГИ
20	15,8	9,0	4,9
50	16,0	—	5,05
100	16,6	10,0	5,35
200	17,0	—	5,55
300	17,6	—	5,7
400	18,0	—	5,8
500	18,3	11,1	5,9
600	18,55	11,3	6,0
700	18,9	11,5	6,5
800	19,25	12,0	7,0
900	19,5	12,4	—
950	19,7	12,9	7,2
1000	20,1	13,0	7,3

углерода возможно образование карбида, имеющего близкий к ПГИ коэффициент линейного расширения. Таким образом появляется возможность, регулируя сварочные параметры, влиять на количественное соотношение карбидной и ферритной фаз, изменяя коэффициент линейного расширения от ПГИ к стали 15X28-ВИ.

При разработке соединений графито-металлических изделий, кроме различия КТР свариваемых материалов на величину термических напряжений, существенное влияние оказывают размеры и форма свариваемых изделий. Часто при переходе от образцов к деталям после сварки на оптимальных режимах сварные соединения самопроизвольно разрушались. В связи с этим были проведены исследования по выбору оптимального соотношения формы и размеров свариваемых элементов и промежуточной прокладки. В результате анализа данных исследований была определена конструкция сварного соединения, позволяющая использовать свойства материала и снизить сварные напряжения.

Согласно проведенным исследованиям по сварке графита с материалами был установлен температурный интервал сварки 900–1000 °С, сварочное давление было выбрано $P_{св} = (1-1,5) \times 10^7$ Па, а время выдержки при сварке 20 и 60 мин. Указанный температурный интервал был выбран в связи с тем, что при диффузионной сварке разнородных материалов с сильно отличающимся коэффициентом линейного расширения величина остаточных термических напряжений зависит от температуры сварки и она должна быть по возможности минимальной. Естественно, что указанный температурный интервал должен обеспечить интенсивную диффузию углерода в ферритную сталь промежуточной прокладки соединения и таким образом способствовать формированию переходного слоя сварного соединения. Поскольку справочные данные материалов показывают, что различие коэффициентов линейного расширения с повышением температуры увеличивается, температурный параметр сварочного режима исследовался только в указанном интервале, обеспечивающем получение достаточно широкой диффузионной зоны, в пределах которой количественное соотношение карбидно-ферритной смеси с промежуточными коэффициентами линейного расширения возможно изменять за счет времени выдержки.

Использование микроструктурного метода позволяет обнаружить наличие диффузионного слоя, определить его ширину и указать особенности его микроструктуры с удалением от поверхности сварки.

Микроструктурний аналіз проводили на образцях сварних з'єдинень в поперечному сеченні. Изучение микроструктуры и фотографирование проводилось на микроскопе МИМ-8 при увеличении $\times 100$ и $\times 500$.

Рентгенофазовий аналіз застосовувався для встановлення природи фаз, обнаруженных микроструктурно в дифузионному шарі. Аналіз проводився на приладі ДРОН-2 в кобальтовому випромінюванні з застосуванням залізного фільтра. Напруга 30 кВ, ток 20 мА, межа вимірювання $0,4 \times 1000$, постійна часу – 5, швидкість обертання лічильника 1 град./хв.

Поскольку образование переходного слоя в сварном соединении происходило в металле промежуточной прокладки стали 15Х28-ВИ, содержащей 28 % Сг, необходимо было определить возможное перераспределение этого элемента в связи с образованием карбида. Кроме того, концентрационные кривые хрома и железа, полученные сканированием электронного зонда от графита к чистому ферриту через переходный слой, позволили более точно определить ширину диффузионной зоны.

Микрорентгеноспектральный анализ сварных соединений производился на микроанализаторе МС-46 фирмы «Сомеса» $E_0 = 20$ кВ, $i_0 = 25$ мА, диаметр электронного зонда – 2 мкм, масштаб записи на ленте 1 дел. – 10 мкм.

Ширина зоны диффузионного взаємодія ПГІ со сталлю 15Х28-ВИ може бути відмінною від тієї, яка визначена з допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу, так як микроструктурно можна не обнаружить дисперсних фаз і шару ферриту в сталі 15Х28-ВИ, збагаченого вуглеродом, де немає фазових перетворень. В частині ферритного шару, де концентраційні криві хрома і заліза не мають суттєвих змін, може мати місце деяке збільшення вмісту вуглецю без змін фазового складу, в зв'язі з чим реальна ширина диффузійного шару буде відмінною від тієї, яка визначена за даними микроструктурного і мікрорентгенофазового аналізу.

Повний спектральний аналіз зразків сварних з'єдинень вироблявся шляхом визначення вмісту вуглецю в шарі диффузійної зони від поверхні зварки вглиб прокладки сталі 15Х28-ВИ. С зразків знімався графіт до шару карбиду, обнаруженного микроструктурно. Визначення вмісту вуглецю вироблялось зміною спектрографічних параметрів. Мікрослої знімалися в поперечному сеченні сварного з'єдинення з допомогою наждачного круга. Товщина кожного мікрослою 20 мкм. Мікротвердість вимірювалась твердометром.

Спектральний аналіз був застосований для визначення ширини диффузійної зони для зразка сварного з'єдинення, отриманого при зварочному режимі $T = 950$ °С, $P = 1,0 \cdot 10^7$ Па, $\tau = 20$ хв. Порівняння результатів спектрального аналізу і мікрорентгеноспектрального показало задовільне співпадіння.

Висновки. Таким чином, з допомогою запропонованої методики дослідження були встановлені оптимальні параметри зварки, що дозволяють отримати якісне з'єдинення.

Библиографические ссылки

1. Вилль В. И. Сварка металлов трением / В. И. Вилль. – М. : Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Гельман А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М. : Машиностроение, 1970. – 232 с.
3. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 199 с.
4. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка в вакууме / Н. Ф. Казаков. – М. : Машиностроение, 1976. – 312 с.

Надійшла до редколегії 05.10.2013.