

PACS numbers: 06.60.Vz, 62.20.Qr, 62.23.Pq, 81.20.Ev, 81.20.Vj, 81.40.Ef, 81.70.Jb

Прессовая сварка алюминиды титана с применением наноструктурированных прослоек

В. К. Сабокаръ, И. К. Петриченко, С. В. Ахонин

*Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
ул. Боженко, 11,
03680, ГСП, Киев-150, Украина*

В статье рассмотрен вопрос соединения алюминиды титана системы Ti–Al–Cr методом прессовой сварки с применением наноструктурированных многослойных промежуточных прослоек при температуре 700°C, давлении 200 МПа, времени 15 мин. Выполнены металлографические и микрорентгеноспектральные исследования. Установлено, что отжиг сварного соединения при 1260°C, 10 ч. обеспечил диффузию элементов промежуточной прослойки в приконтактные объемы соединяемых металлов и выравнивание структуры сварных соединений.

У статті розглянуто питання з'єднання алюмініду титану системи Ti–Al–Cr методомю пресового зварювання із застосуванням наноструктурованих багатопшарових проміжних прошарків за температури 700°C, тиску 200 МПа, часу 15 хв. Виконано металографічні та мікрорентгеноспектральні дослідження. Встановлено, що відпал зварного з'єднання при 1260°C, 10 год. забезпечив дифузію елементів проміжного прошарку в приконтактні об'єми металів, що з'єднуються, і вирівняв структуру зварних з'єднань.

Joining of titanium aluminide of the Ti–Al–Cr system by pressure welding using nanostructured laminated interlayers at a temperature of 700°C, pressure of 200 MPa and time of 15 min is considered. Metallographic examinations and x-ray spectral microanalysis are carried out. As revealed, the annealing of a welded joint at 1260°C for 10 h provides diffusion of elements of the interlayer into the near-contact volumes of metals being joined as well as levelling of structure of the welded joints.

Ключевые слова: алюминид титана, прессовая сварка, промежуточная прослойка, отжиг.

(Получено 1 октября 2010 г.)

1. ВВЕДЕНИЕ

Метод прессовой сварки в вакууме позволяет уменьшить термическое влияние на соединяемые детали по сравнению с диффузионной сваркой, поэтому в ряде случаев он является наиболее приемлемым методом соединения [1]. При таком методе соединение осуществляется за счет интенсивной пластической деформации поверхностей. Так как наноструктурированные прослойки имеют большую диффузионную емкость, то наличие наноструктурированного состояния промежуточных вставок улучшит условия образования соединения этим методом.

В работе [2] установлено, что наличие градиентных наноструктур на поверхности титана ВТ1-0 позволяет снизить температуру прессовой сварки на 150°C и, тем самым, избежать нежелательных структурных превращений в металле зоны контакта.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Прессовая сварка образцов алюминидов титана системы Ti–Al–Cr осуществлялась в вакуумной камере установки У-874 с применением наноструктурированных прослоек из многослойных присадок Ti/Al толщиной 0,05 мм, полученной методом электроннолучевого испарения и конденсации из паровой фазы [3], в которой слои Ti и Al чередуются между собой с периодом до 1 мкм (сумма толщины одного слоя Al и одного слоя Ti) (рис. 1).

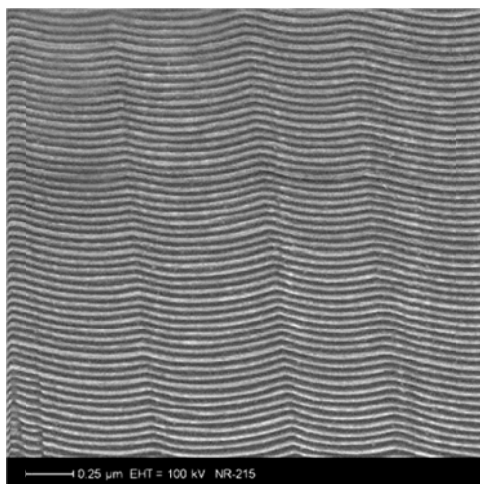


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение микроструктуры поперечного разреза образцов фольги после осаждения. Светлые полосы — слои титана; темные полосы — слои алюминия.

Образцы сваривались по режиму: $T_{\text{св}} = 700^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{св}} = 200$ МПа, $t_{\text{св}} = 30$ мин.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

После сварки давлением интерметаллидного сплава Ti–Al–Cr в литом состоянии с применением многослойной наноструктурированной присадки Ti/Al, в зоне соединения наблюдается прослойка, которая состоит из трех слоев: двух внешних — диффузных зон со стороны основного металла и внутреннего — из материала прослойки (рис. 2).

Оптической металлографией выполнены исследования микроstructures сварных соединений, микрорентгеноспектральным анализом — распределение Ti, Al, Cr в зоне контакта (рис. 3).

Предварительными исследованиями Устинова А. И. [4] установлено, что при медленном нагреве образцов многослойных фольг Ti/Al в интервале температур $300\text{--}600^{\circ}\text{C}$ происходят, по крайней мере, три фазовых превращения. Сравнение результатов анализа изменения фазового состава фольг при повышении температуры и результатов исследования микроstructures позволяет предположить следующую схему преобразований в виде цепочки: $\text{TiAl}_3 \rightarrow \text{Ti}_2\text{Al}_5 \rightarrow \text{TiAl}_2 \rightarrow \text{TiAl}$.

Схема учитывает факт последовательного образования фаз, в которых систематически уменьшается содержание алюминия и увеличивается содержание титана. Отмечается, что при фазовых пре-

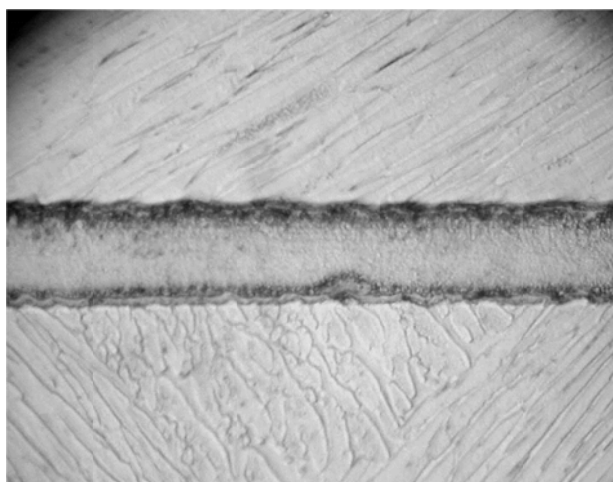


Рис. 2. Микроstructure зоны соединения алюминид титана с многослойной наноструктурированной промежуточной прослойкой после сварки. $\times 500$.

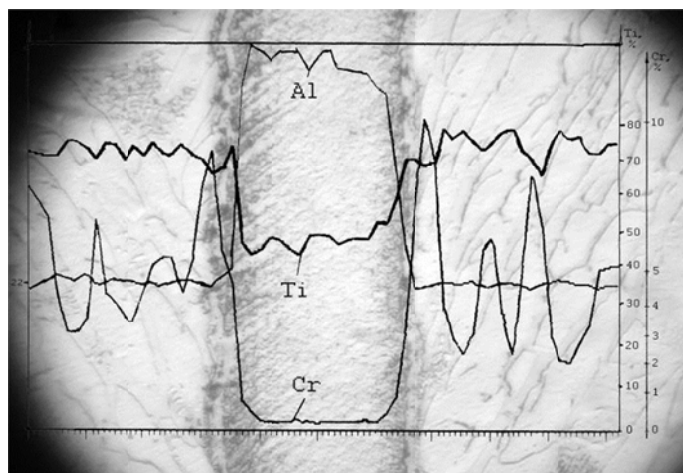


Рис. 3. Распределение элементов в соединении после сварки.

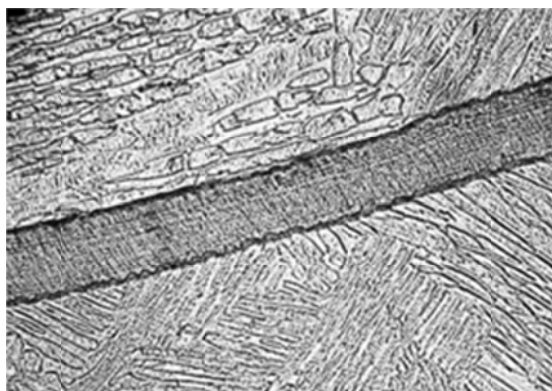


Рис. 4. Структура промежуточной прослойки Ti/Al в состоянии после сварки.

вращениях сохраняются признаки слоистого строения структуры промежуточной прослойки. Из приведенных данных следует, что при применении наноструктурированной промежуточной прослойки при сварке давлением, происходит постепенное превращение ее послойной структуры в сплошную в процессе нагрева до рабочей температуры сварки. Металлографическими исследованиями подтверждены результаты Устинова А. И. относительно сохранения слоистого строения промежуточной прослойки после фазовых превращений (рис. 4).

После вакуумного отжига сварных образцов при температуре 1260°C в течение 10 часов прослойка в зоне соединения растворяет-

ся в основном металле и образуются общие зерна, идентичные исходной структуре основного металла. Линия контакта между соединяемыми поверхностями не обнаружена. Любые дефекты в зоне соединения отсутствуют (рис. 5).

Характер распределения легирующих элементов в соединенных образцах алюминид титана под действием отжига не изменился, а материал промежуточной прослойки полностью растворился в основном металле (рис. 6).



Рис. 5. Микроструктура зоны соединения алюминид титана с многослойной Ti/Al наноструктурированной промежуточной прослойкой после отжига. $\times 500$.

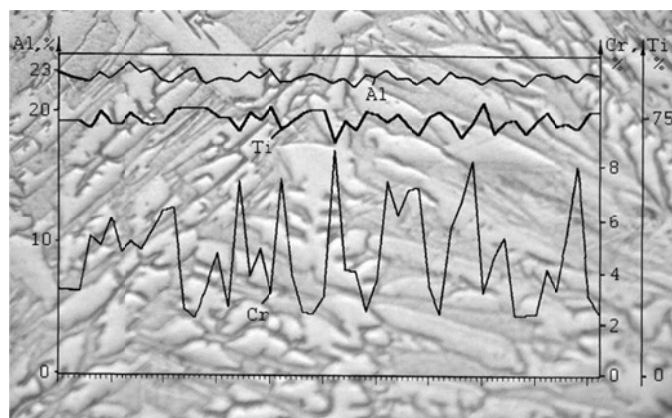


Рис. 6. Распределение элементов в соединении после сварки и отжига.

В результате выполненных микрорентгеноспектральных исследований зоны контакта сварных соединений алюминидов титана си-

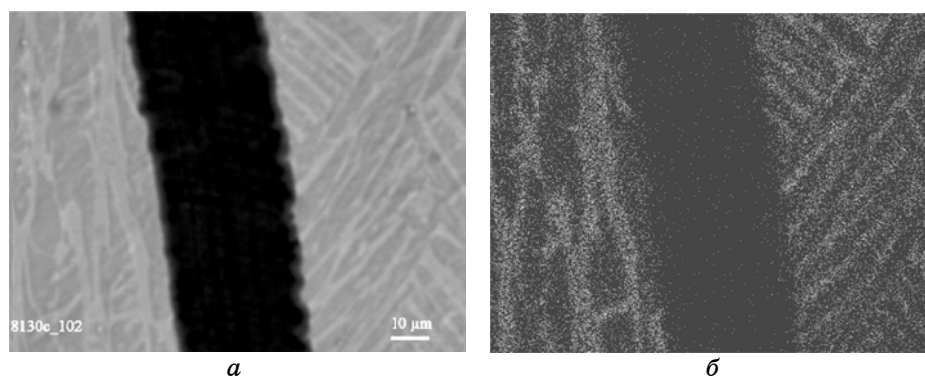


Рис 7. Фотографии микроструктуры сварного шва сплава Ti-31Al-4Cr (% ат.) с промежуточной прослойкой (а) и распределение интенсивности излучения CrK α (б) того же участка структуры.

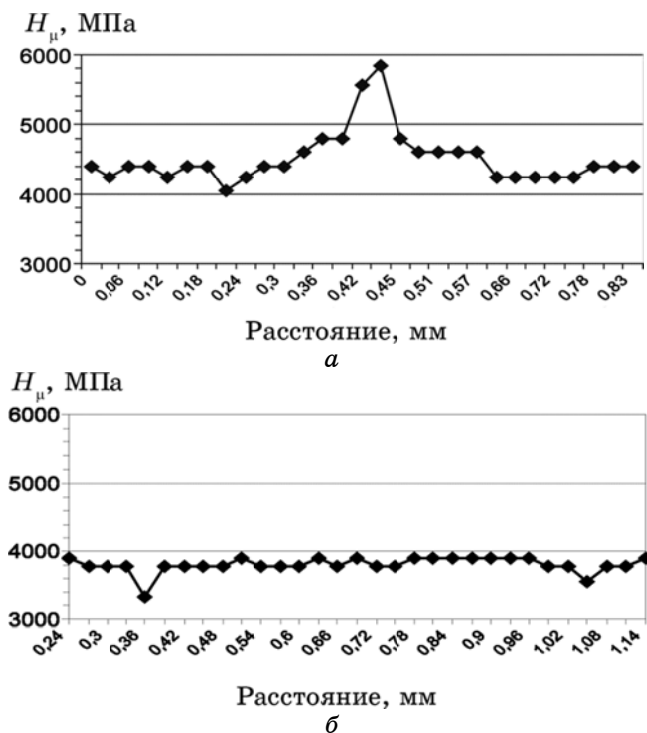


Рис 8. Значение микротвердости зоны сварного соединения в состоянии после сварки (а) и после высокотемпературного отжига (б).

стемы Ti–Al–Cr, полученных с применением промежуточных нанослойных вставок, установлено, что распределение легирующих элементов (Ti, Al, Cr) в основном металле равномерное и находится в пределах Ti — 77,262–72,096 масс.% (66,65–65,48 ат.%), Al — 20,753–20,6 масс.% (31,78–38,69 ат.%), Cr — 1,938–7,129 масс.% (1,54–5,69 ат.%). Неравномерность по содержанию Cr в основном металле вызвана разным его содержанием в α_2 - и γ -фазах, которая получена при выплавке слитка, и характеризует растворимость Cr в каждой отдельной фазе (рис. 7).

Исследование микротвердости отдельных зон сварного соединения показали значительное повышение значений в зоне промежуточной прослойки (рис. 8, а), в сравнении с основным металлом.

Выполнение высокотемпературного отжига (1260°C, 10 часов) позволило не только растворить материал прослойки, но и снизить микротвердость всего соединения до значений 3500–4000 МПа (рис. 8, б), что характеризует наличие гомогенизирующих процессов во время термической обработки.

Определение механических свойств сварных соединений показало, что при испытании на растяжение образцы разрушаются вне зоны линии контакта соединяемых поверхностей, с большим разбросом значений предела прочности (460,0–197,0 МПа). Это может быть объяснено только наличием дефектов литья и чрезвычайно хрупкой структурной составляющей.

4. ВЫВОДЫ

Сварка алюминидов титана Ti–Al–Cr через Ti/Al промежуточные наноструктурированные прослойки позволила получить сварные соединения методом прессовой сварки при температурах значительно ниже (700°C), чем при диффузионной сварке.

Высокотемпературный отжиг (1260°C, 10 ч.) полученных сварных соединений обеспечил диффузию элементов промежуточной прослойки в приконтактные объемы соединенных металлов и выравнивание структуры сварных соединений.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Замков, В. К. Сабокарь, П. И. Чвертко, С. В. Ахонин, И. К. Петриченко, *Материалы четвертого Международного научно-практического семинара 23–25 октября 2007 года* (Санкт-Петербург: 2008), с. 16.
2. А. В. Бокова, В. Ф. Горбань, В. Н. Замков, Ю. Н. Подрезов, С. А. Фирстов, С. Э. Шейкин, В. К. Сабокарь, О. А. Розенберг, *Металлофиз. новейшие технол.*, **28**, № 2: 173 (2006).
3. Б. Е. Патон, А. Я. Ищенко, А. И. Устинов, *Автомат. сварка*, № 12: 5 (2008).
4. А. И. Устинов, Л. А. Олиховская, Т. В. Мельниченко, А. Е. Шишкин, *Современная электрометаллургия*, № 2: 21 (2008).