

УДК 539.25:621.791.14:620.186.12

DOI: 10.17223/00213411/63/3/107

*А.А. ЕЛИСЕЕВ, С.В. ФОРТУНА, А.И. АМИРОВ, Т.А. КАЛАШНИКОВА, В.Е. РУБЦОВ, Е.А. КОЛУБАЕВ***СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНОВОГО И АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ***

Успешно сформированы неразъемные соединения сваркой трением с перемешиванием внахлест листового проката из разнородных материалов – алюминиевого АМг5 и титанового ОТ4-1 сплавов. Методами рентгеноструктурного анализа и точечного элементного анализа в зоне перемешивания неразъемного соединения обнаружено образование четырех интерметаллидных соединений: $TiAl_3$, $TiAl$, $TiAl_2$ и Ti_3Al . Показано, что уменьшение глубины погружения инструмента в подложку и увеличение скорости сварки не позволяет избежать формирования интерметаллидов. Микротвердость соединения имеет неравномерное распределение, максимальное значение твердости достигает 4 ГПа в середине зоны перемешивания.

Ключевые слова: *сварка трением с перемешиванием, алюминиевый сплав, титановый сплав, микротвердость.*

Введение

В настоящее время актуальна разработка гибридных структур, в которых компоненты из разнородных материалов могут быть адаптированы к определенным функциям. Как следствие, существует потребность в способе сварки, позволяющем соединять разнородные материалы, например, титановые сплавы, имеющие высокие коррозионные свойства и прочность, и алюминиевые сплавы, имеющие низкий удельный вес и низкую стоимость. При традиционных методах сварки плавлением в составе материала сварного шва между титановыми и алюминиевыми сплавами часто содержатся такие интерметаллидные соединения, как Ti_3Al , $TiAl$ и $TiAl_3$.

Когда толщина формируемых хрупких интерметаллидных слоёв превышает 5–10 мкм, качество свариваемого соединения становится неудовлетворительным. Для решения этой проблемы предлагаются специальные методы, например, сварка под давлением [1], диффузионное соединение [2], вакуумная пайка [3], лазерная сварка-пайка [4], диффузионная сварка [5] и сварка трением [6]. Данные исследования показали, что решение ключевой проблемы образования межфазных интерметаллических фаз этими методами возможно лишь частично и зависит от температуры и продолжительности процесса. Сварка трением с перемешиванием (СТП) является многообещающей технологией твердофазного соединения, которая может решить эти проблемы благодаря более низкой температуре процесса (не более $0.8 T_{пл}$), так что образование толстого интерметаллидного слоя может быть подавлено. Несколько исследователей предприняли попытку получить разнородные соединения сплавов на основании титана и алюминия методом сварки трением с перемешиванием [7–9], однако до сих пор свойства данных соединений детально не изучены.

Из известных данных по сварке трением с перемешиванием следует, что, как правило, в процессе СТП-алюминиевых и титановых сплавов в материале соединения образуется интерметаллидная фаза $TiAl_3$ [10]. Фаза $TiAl_3$ была также описана как единственная формирующаяся при сварке трением Al/Ti [6, 11, 12] и обработке трением с перемешиванием (ОТП) в смеси технически чистых металлических порошков Al/Ti [13]. Синтез алюминидов титана методом порошковой металлургии показал, что интерметаллидная фаза $TiAl_3$ формируется до образования любого другого из возможных (согласно диаграмме состояния бинарной системы $Ti-Al$, показанной на рис. 1) алюминидов титана [14–17]. Вместе с тем в [18] было показано, что при сварке трением с перемешиванием могут формироваться несколько интерметаллидных фаз (Ti_3Al , $TiAl$ и $TiAl_3$).

Фуджи и др. [6] сообщили, что доминирующим фактором, определяющим механические характеристики соединения в фрикционных сварных швах Al и Ti , была толщина слоя интерметаллического соединения $TiAl_3$ на границе раздела. Критическая толщина слоя интерметаллического соединения составляла около 5 мкм. На основании этих данных в работе делается предположение,

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23 и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-27001.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>