

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ ТИТАНОАЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СПОСОБОМ

Предложен новый жидкофазный способ формирования слоистых композиционных материалов Ti–Al. Исследовано влияние температурных режимов жидкой фазы на полноту (силу) и скорость смачивания титанового пакета алюминиевым расплавом, а также химического и фазового состава слоев композита. Установлены зависимости прочности сцепления слоев титана и алюминия от температурных режимов и параметров сборки многослойного титанового пакета. Исследована кинетика роста переходных интерметаллидных фаз Ti–Al.

Ключевые слова: слоистый композиционный материал, процесс жидкофазного формирования, алюминий, титан, смачивание, интерметаллид, активирующий флюс.

A.I. Kovtunov, S.V. Myamin

STUDY OF THE TECHNOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED TITANO-ALUMINIUM COMPOSITE MATERIALS, PRODUCED BY LIQUID-PHASE METHOD

The novel liquid-phase method was proposed for forming the laminated Ti–Al composite materials. The effect of liquid-phase temperature conditions on the wetting intensity and rate of titanium packet by the aluminium melt was studied along with the chemical and phase composition of the composite layers. The relationship of the titanium and aluminium bonding strength from the temperature conditions and parameters of multilayer titanium packet assembling was established. The growth kinetics of Ti–Al transition intermetallic phases was also studied.

Keywords: laminated composite material, forming liquid-phase process, aluminium, titanium, wetting, intermetallide, activating flux.

¹Тольяттинский государственный университет [Togliatti State University] Oddknock@rambler.ru

Развитие современной техники невозможно без использования материалов, обладающих особыми физическими, химическими, механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами, а также без совершенствования процессов их производства. Немалая роль в создании новых материалов с комплексом таких ценных свойств, как высокая прочность, коррозионная стойкость, электропроводность, жаропрочность, износостойкость, принадлежит слоистым металлическим композитам [1].

Слоистые металлические композиционные материалы (СКМ), в том числе титаноалюминиевые, применяются в машиностроении для изготовления переходников, предназначенных для сварки различных конструкций из разнородных металлов, корпусов, узлов и деталей космической аппаратуры, летательных аппаратов, химической, криогенной и атомной техники и т. д.

Основными способами получения СКМ Ti–Al являются прокатка и сварка взрывом [1]. Их главными недостатками считается большая трудоемкость процесса, необходимость наличия специальных полигонов, сложное оборудование, невозможность получать изделия сложной геометрической формы без дополнительной обработки и как итог – высокая стоимость материала.

Альтернативой существующим способам является жидкофазное формирование СКМ Ti–Al, при котором многослойный титановый пакет заполняется расплавленным

алюминием. При этом форма многослойного пакета может быть любой, что существенно упростит его дальнейшую обработку.

Исследования процессов жидкофазного формирования СКМ Ti–Al проводились с использованием титана марки ВТ1-0 (толщина пластин 0,5 мм) и технического алюминия А7. Температура расплава находилась в интервале от 670 до 950°C. Полнота (сила) смачивания (рис. 1) определялась согласно ГОСТ 23904–79 «Пайка. Метод определения смачивания материалов припоями» на специально изготовленной установке [2]. Площадь растекания алюминия по титану определялась при температурах 700, 800 и 900°C (рис. 2). При этом титановые пластины размером 40×40 мм с навеской алюминия А7 объемом 64 мм² и флюсом системы KF–AlF₃ помещались в вертикальную муфельную печь и выдерживались в течение 120, 300 и 600 с [3]. Содержание компонентов в активирующем флюсе соответствовало эвтектической концентрации. Титановые пластины предварительно травят в растворе, состоящем из 20–30 мл H₂NO₃, 30–40 мл HCl на 1 литр воды. Продолжительность травления составляла 5–10 мин при 20°C [4].

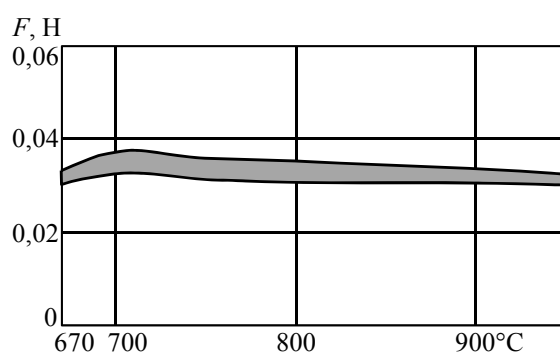


Рис. 1. Зависимость полноты (силы – F) смачивания от температуры процесса жидкофазного формирования слоистого композита

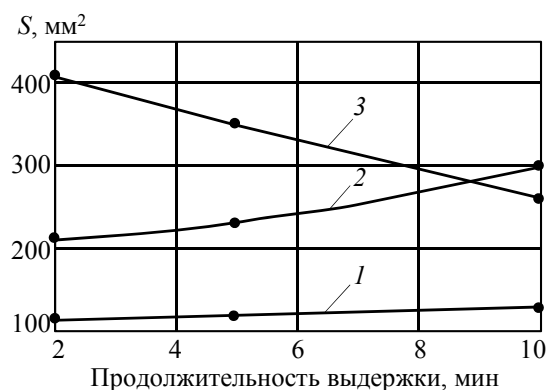


Рис. 2. Зависимость площади растекания S алюминия по поверхности титана от продолжительности выдержки при температурах процесса 700 (1), 800 (2) и 900°C (3)

Исследование прочности сцепления слоев титана и алюминия проводилось на нахлесточных образцах размером 10×150×0,5 мм с величиной нахлестки 3 мм и размером зазора 0,125; 0,35 и 0,7 мм. После разрушения образцов оценивалась относительная площадь непрочая с использованием программы Universal Desktop Ruler.

Химический анализ алюминиевого и переходного слоев, а также поверхности разрушения проводили на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (фирма ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300.

Исследования показали, что полнота (сила) смачивания титана алюминием незначительно изменяется при повышении температуры расплава. Максимальные ее значения наблюдаются при температуре расплава 700–750°C (см. рис. 1).

Площадь растекания алюминия по поверхности титана увеличивается с увеличением температуры и продолжительности выдержки, однако из-за активного окисления титана при температуре 900°C наблюдается снижение площади растекания алюминия. Кроме того, согласно работе [5], при температуре 900°C при взаимодействии титана и жидкого алюминия образуется интерметаллид TiAl₃, который также препятствует процессу смачивания.

С повышением температуры процесса прочность сцепления слоев титана и алюминия увеличивается (рис. 3). Резкое увеличение прочности сцепления наблюдается в интервале температур 900–950°C при величине зазора 0,125 мм (см. рис. 3). Наиболее

высокая прочность сцепления титана и алюминия наблюдается при величине зазора между титановыми пластинами 0,35 мм. Подобный характер изменения прочности сцепления, прежде всего, связан с зависимостью величины относительной площади непропая образцов от температуры (рис. 4), а также с изменением структурного и фазового состава переходного слоя.

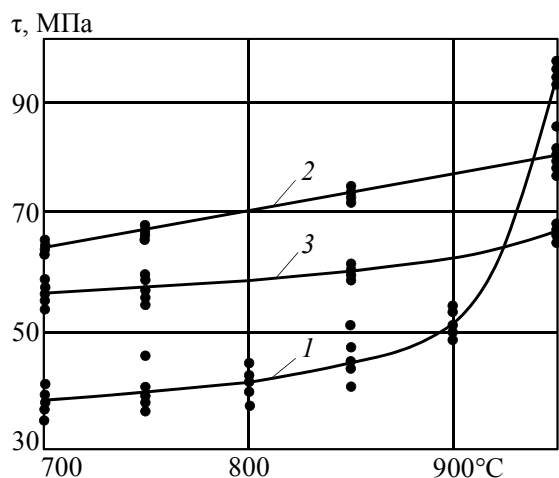


Рис. 3. Температурная зависимость прочности сцепления τ слоев в титаноалюминиевом слоистом композиционном материале при величине зазора 0,125 (1); 0,35 (2) и 0,7 мм (3)

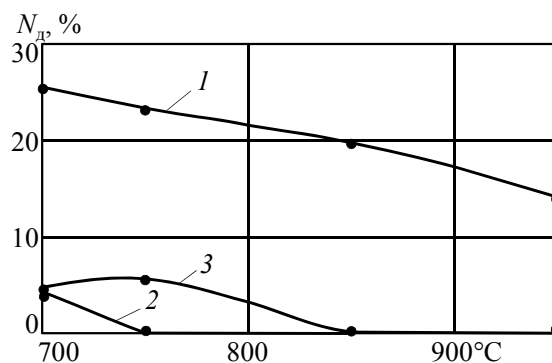


Рис. 4. Зависимость величины относительной площади непропая N_d от температуры процесса формирования титаноалюминиевого слоистого композита при величине зазора 0,125 (1); 0,35 (2) и 0,7 мм (3)

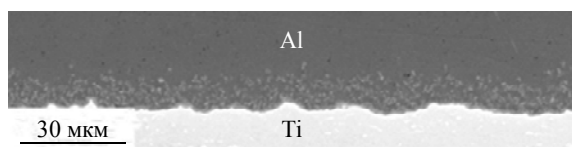


Рис. 5. Микроструктура переходной зоны слоистого титаноалюминиевого композита при температуре формирования 700°C

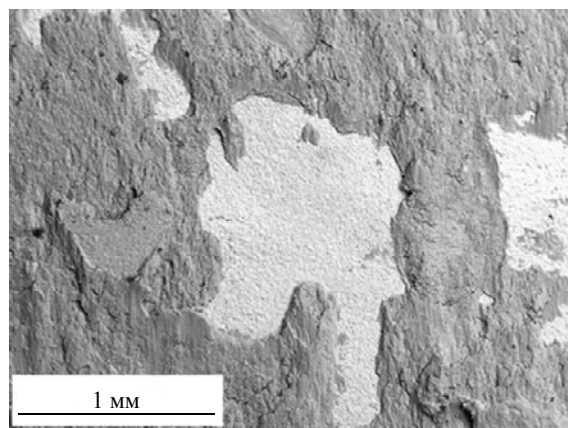


Рис. 6. Поверхность разрушения слоистого титаноалюминиевого композита при температуре формирования 700°C

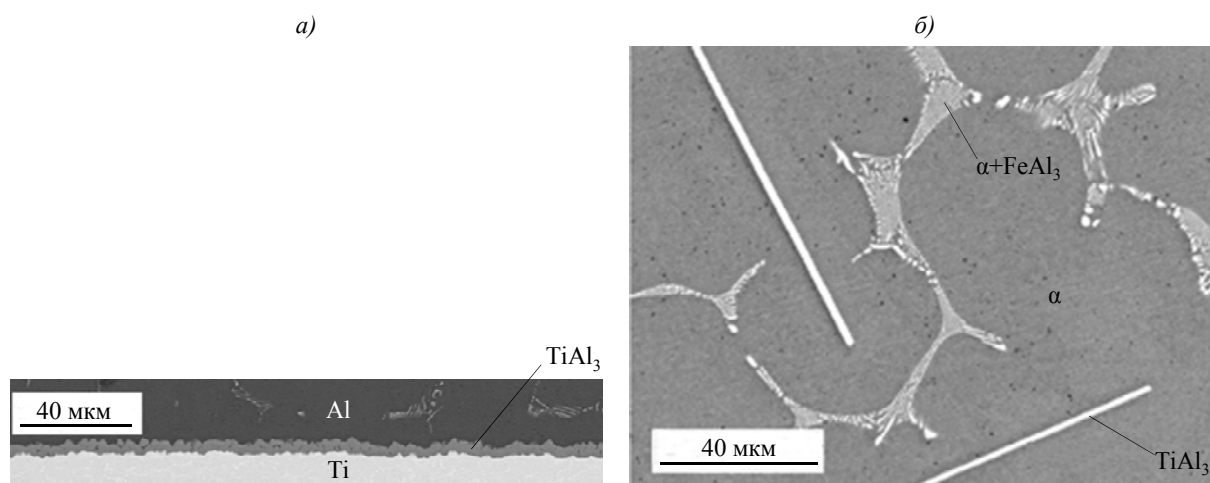


Рис. 7. Микроструктуры переходной зоны (а) и алюминиевого слоя (б) слоистого титаноалюминиевого композита при температуре формирования 850°C

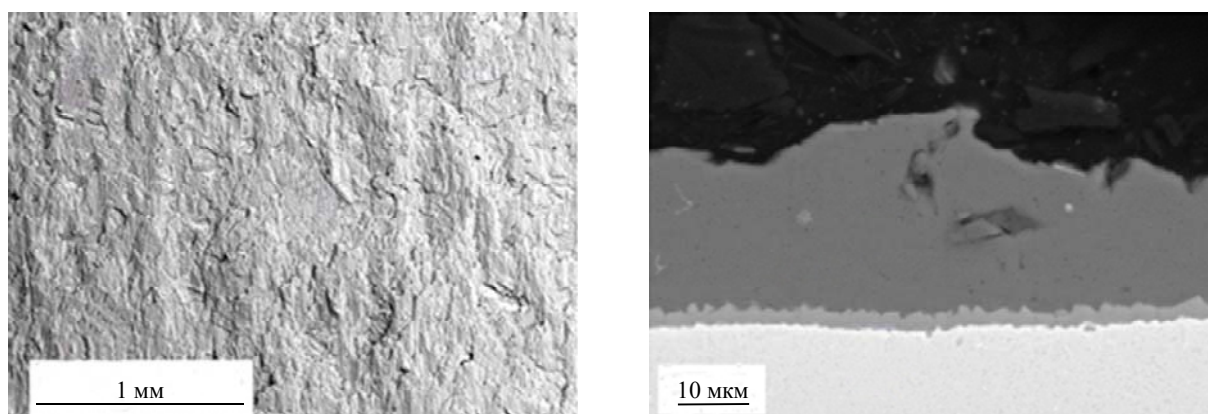


Рис. 8. Поверхность разрушения и поперечное сечение разрушенного образца из слоистого титаноалюминиевого композита при температуре формирования 900°C

Проведенные металлографические исследования и исследования химического состава алюминиевого и переходного слоя, а также поверхности разрушения показали, что при температуре 700–750°C вдоль границы двух слоев формируется двухфазная область, состоящая из алюминиевой и титановой фазы (рис. 5). Алюминиевая фаза содержит до 0,5% титана, а титановая ~37% титана и в соответствии с диаграммой состояния является интерметаллидным соединением $TiAl_3$. Количество интерметаллидной фазы в этой области увеличивается с повышением температуры процесса формирования СКМ. Разрушение образцов происходит именно по этой двухфазной области (рис. 6). На поверхности разрушения образцов наблюдаются флюсовые включения, которые значительно снижают прочность сцепления слоев СКМ.

При температурах процесса $>800^\circ C$ на границе алюминия и титана формируется сплошной переходный интерметаллидный слой на основе интерметаллида $TiAl_3$ (см. рис. 6). Толщина переходного интерметаллидного слоя зависит от температуры процесса и в интервале температур 800–950°C составляет 1,5–5 мкм. Алюминиевый слой представляет собой алюминиевый α -твердый раствор с содержанием титана до 1,15% с иглообразными включениями $TiAl_3$ (рис. 7, а). По границам зерен α -фазы выпадает эвтектика ($\alpha+FeAl_3$). Разрушение образцов, полученных при этих температурах, происходит по алюминиевому слою (рис. 7, б). На поверхности разрушенных образцов, полу-

ченных при температурах $>850^{\circ}\text{C}$, практически отсутствуют флюсовые включения (рис. 8). Изменение характера разрушения и повышение качества формирования структуры при температурах $>800^{\circ}\text{C}$ способствуют повышению прочности сцепления слоев слоистого титаноалюминиевого композита.

Максимальная полнота (сила) смачивания титана жидким алюминием при формировании слоистых композиционных материалов с активацией поверхности флюсом системы $\text{KF}-\text{AlF}_3$ наблюдается при температуре $700-750^{\circ}\text{C}$. При более высоких температурах полнота (сила) смачивания незначительно уменьшается при повышении температуры алюминиевого расплава в интервале температур $700-950^{\circ}\text{C}$.

Прочность сцепления титана с алюминием при формировании слоистых композиционных материалов с повышением температуры алюминиевого расплава повышается, что связано с уменьшением площади непропая и изменением характера разрушения материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгунов В.Г. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов. М.: Metallurgizdat. 2004. 230 с.
2. Ковтунов А.И., Мямин С.В., Чермашенцева Т.В. Исследование процессов смачивания стали алюминием при производстве слоистых композитов //Сварочное производство. 2011. №3. С. 8–11.
3. Grjotheim K., Krohn C., Malinovsky M., Matiasovsky K., Thonstad J. Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 2nd edition //Aluminium-Verlag. 1982. 443 p.
4. Справочник по пайке /Под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение. 2003. 480 с.
5. Гуревич С.М., Замков В.Н., Блащук В.Е. и др. Metallurgiya i tehnologiya svarki titana i ego spлавov. К.: Наукова думка. 1986. 240 с.

REFERENS LIST

1. Trykov Ju.P., Gurevich L.M., Shmorgun V.G. Sloistye kompozity na osnove aljuminija i ego splavov [Layered composites on the basis of aluminum and its alloys]. M.: Metallurgizdat. 2004. 230 s.
2. Kovtunov A.I., Mjamin S.V., Chermashenceva T.V. Issledovanie processov smachivaniya stali aljumiem pri proizvodstve sloistyh kompozitov [Research of processes of wetting became aluminum by production of layered composites] //Svarochnoe proizvodstvo. 2011. №3. S. 8–11.
3. Grjotheim K., Krohn C., Malinovsky M., Matiasovsky K., Thonstad J. Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 2nd edition //Aluminium-Verlag. 1982. 443 p.
4. Spravochnik po pajke [The reference book on the soldering] /Pod red. I.E. Petrunina. M.: Mashinostroenie. 2003. 480 s.
5. Gurevich S.M., Zamkov V.N., Blashhuk V.E. i dr. Metallurgija i tehnologija svarki titana i ego splavov [Metallurgy and technology of welding of the titan and his alloys]. K.: Naukova dumka. 1986. 240 s.