

Получение слоистых композиционных материалов никель – алюминий жидкофазным способом

А. И. Ковтунов, С. В. Мямин, Д. И. Плахотный

Исследованы условия формирования слоистых композиционных материалов системы никель – алюминий жидкофазным способом с активацией поверхности никеля флюсом на основе эвтектической системы KF – AlF₃. Установлены зависимости прочности сцепления слоев от температуры формирования слоистых композиционных материалов (СКМ) и величины зазора между никелевыми пластинами.

Ключевые слова: слоистый композиционный материал, процесс жидкофазного формирования, интерметаллиды, алюминий-никель, активирующий флюс.

Formation conditions of layered composite materials of system nickel-aluminium by liquid-phase method with the activation of the nickel surface by the flux on the basis of eutectic system KF – AlF₃ became investigated in the article. Dependences of layer coupling durability from layered composite materials formation temperature and backlash size between nickel plates are established.

Keywords: the layered composite material, liquid-phase formation process, intermetallic alloy, aluminum(aluminium)- nickel, activate flux.

Введение

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 принадлежит слоистым металлическим композитам [1].

Металлические СКМ, в том числе никель-алюминиевые СКМ, применяют 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 никель – алюминий являются прокатка и сварка взрывом [1]. Их главными недостатками являются большая трудоемкость процесса, необходимость наличия специальных полигонов, сложное оборудование, невозможность получать изделия сложной геометрической

формы без дополнительной обработки и как итог высокая стоимость композита.

Альтернатива существующим способам получения — жидкофазное формирование СКМ никель – алюминий, при котором многослойный никелевый пакет пропитывается алюминием. При этом форма многослойного пакета может быть любой, что существенно упрощает его дальнейшую обработку.

Цель работы — изучение и установление зависимостей смачивания, прочности сцепления слоев и их структуры в зависимости от температурных и временных режимов процесса жидкофазного формирования слоистых композиционных материалов никель – алюминий.

Методика эксперимента

Силу и скорость смачивания определяли при помощи экспериментальной установки, состоящей из микропроцессорного измерителя – регулятора температуры расплава ТРМ138, весов ВМ-313 ОКБ “Веста” с цифровым выходом на компьютер в реальном масштабе времени через интерфейс RS232

с оптической развязкой. В экспериментах использовали никелевые образцы марки Н2, размером $50 \times 25 \times 2$ мм. Температура алюминиевого расплава изменялась в интервале $675 - 950$ °С. Образцы предварительно покрывали водным раствором флюса и просушивали до полного испарения влаги из флюсового покрытия. В качестве активатора никелевой поверхности использовали флюс на основе эвтектической системы $KF - AlF_3$ [2–4].

Исследование прочности сцепления слоев никеля и алюминия проводили на нахлесточных образцах размерами $150 \times 10 \times 2$ мм с величиной нахлестки 10 мм и шириной зазора между никелевыми пластинами 0,125; 0,35 и 0,7 мм. Никелевые пластины предварительно покрывали флюсом, собирали по две пластины оставляя между пластинами зазор и окунали в алюминиевый расплав марки А7 с изменяющейся температурой в интервале от $700 - 950$ °С для формирования алюминиевого слоя. Испытания проводили на разрывной машине Н50КТ производства стран Великобритании – США, компании Tinius Olsen).

Металлографические исследования и химический анализ композита проводили на трехслойных никелево-алюминиевых образцах, которые получали по описанной выше технологии.

Структуру и элементный состав алюминиевого и переходного слоя проводили в условиях ОАО «АВТОВАЗ» методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300.

Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что сила смачивания никеля алюминиевым расплавом увеличивается с повышением температуры и достигает своего максимума при 750 °С (рис. 1). При более высоких температурах дальнейшего увеличения силы смачивания не наблюдается, это можно объяснить образованием интерметаллидного слоя, который в свою очередь ухудшает смачивание поверхности.

В ходе проведенных исследований поперечных сечений СКМ никель – алюминий было установлено, что качественное формирование СКМ обеспечивается при температурах процесса выше 700 °С и величине зазора 0,125 мм. При более низких температурах процесса в алюминиевом слое присутствуют флюсовые включения и непроаи.

Прочность сцепления слоев композиционного материала определяется, прежде всего, температурой

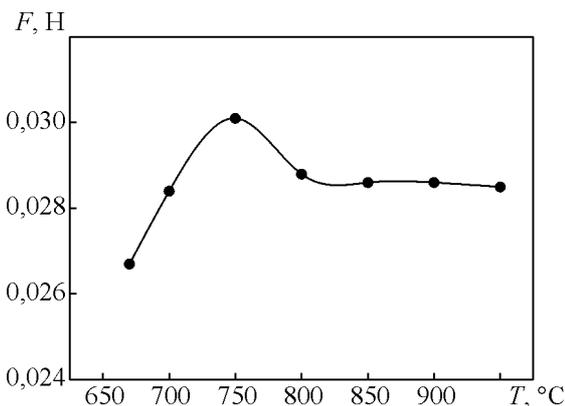


Рис. 1. Зависимость силы смачивания F никеля алюминиевым расплавом от температуры расплава.

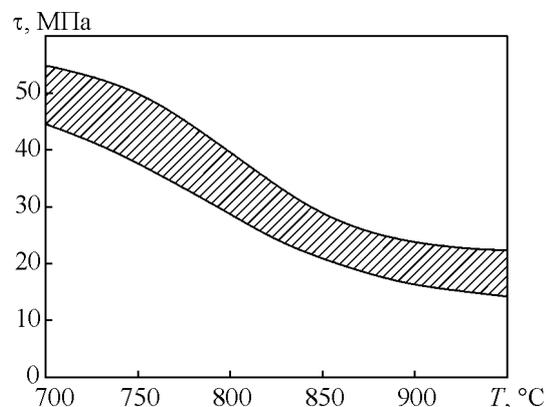


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления слоев СКМ τ от температуры алюминиевого расплава при ширине зазора 0,125 мм.

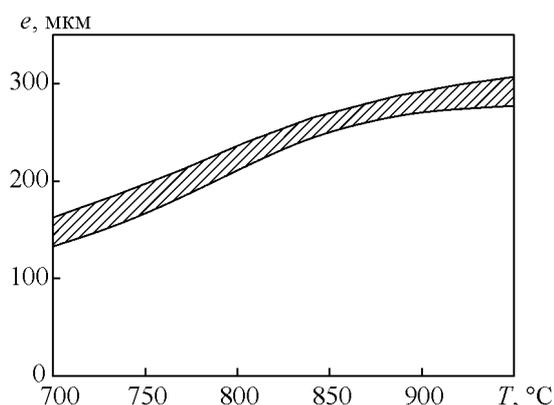


Рис. 3. Зависимость толщины интерметаллидного слоя e от температуры алюминиевого расплава, при ширине зазора 0,125 мм.

процесса. Повышение температуры расплава выше 700 °С приводит к резкому снижению прочности сцепления (рис. 2), что связано с увеличением тол-

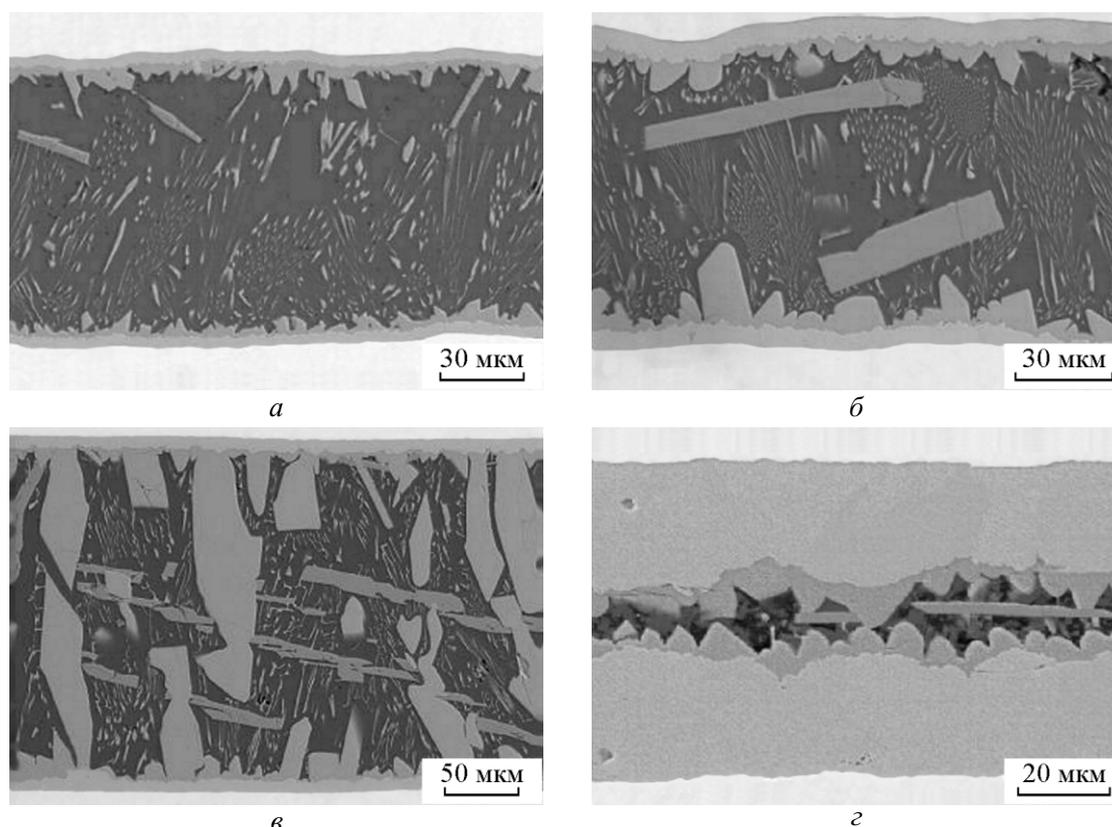


Рис. 4. Структура СКМ никель – алюминий, с шириной зазора 0,125 мм, при температуре формирования, °С: а – 700; б – 750; в – 850; г – 950.

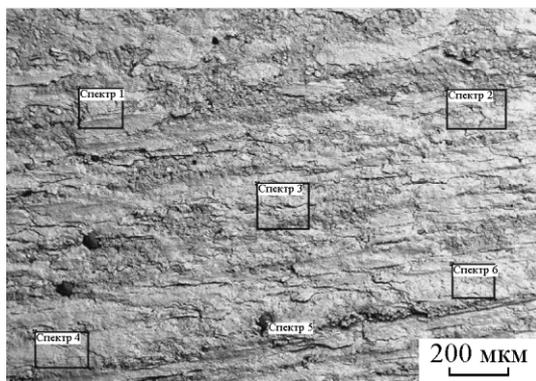
шины переходного интерметаллидного слоя (рис. 3). Максимальные значения прочности 54,8 МПа наблюдали при температуре 700 °С. Увеличение температуры алюминиевого расплава до 750 °С приводит к уменьшению прочности на 35% от максимального значения, а при повышении температуре процесса до 950°С прочность сцепления уменьшается практически в 3 раза (рис. 2). Увеличение ширины алюминиевого слоя так же приводит к снижению прочности сцепления СКМ, что связано с увеличением объема перегретого алюминиевого расплава и как, следствие, с увеличением толщины интерметаллидного слоя.

Рентгеноспектральный и металлографический анализ показали, что переходный слой состоит из двух последовательно расположенных слоев (рис. 4). Интерметаллидный слой, расположенный со стороны никелевой пластины, представляет собой сплошную полосу практически постоянной толщины. Толщина этого слоя увеличивается с повышением температуры формирования композита (рис. 4). При 700 °С толщина этого слоя составляла порядка 4 – 6 мкм, а при 950 °С — 25 – 35 мкм. Содержание алюминия в

этом подслое — 40,6 – 43,1%, а никеля — 56,9 – 59,4%, что соответствует химическому составу интерметаллидной фазы Ni_2Al_3 [5].

Со стороны алюминия образуется интерметаллидный слой, содержащий алюминий — 57,7 – 58,5 % и никель — 40,6 – 41,7 %, легированный железом от 0,46 до 1%. Он представляет собой включения интерметаллидной фазы $NiAl_3$, легированной железом, пластинчатой формы, вытянутые перпендикулярно границе раздела в сторону алюминиевого слоя (рис. 4). С повышением температуры размер пластин $NiAl_3$ увеличивается.

Алюминий в процессе формирования СКМ насыщается никелем. Алюминиевый слой поэтому при температурах процесса не выше 950 °С представляет собой α -твердый раствор никеля в алюминии и эвтектическую смесь, образованную α -твердым раствором и интерметаллидной фазой $NiAl_3$ (рис. 4). Содержание никеля в эвтектике, исходя из результатов химического анализа, составляет порядка 6,4 – 6,57%. В алюминиевом слое, кроме того, присутствуют интерметаллидные пластинчатые включения, содержащие алюминий — 67,1 – 68,2%, никель



№ спектра	F	Al	K	Fe	Ni	Total
Спектр 1		41,14			58,86	100,00
Спектр 2		47,77			52,23	100,00
Спектр 3		47,07		0,38	52,55	100,00
Спектр 4		41,81			58,19	100,00
Спектр 5	54,55	18,51	26,94			100,00
Спектр 6		41,67			58,33	100,00
Max	54,55	47,77	26,94	0,38	58,86	
Min	54,55	18,51	26,94	0,38	52,23	

Рис. 5. Структура и элементный состав поверхности разрушения слоистого композита никель – алюминий, температура формирования 850 °С.

— 25,94 – 27,8% и железо — 4,48 – 5,3%, что соответствует области существования фазы τ_2 (Al_9FeNi) [6].

При повышении температуры процесса объем интерметаллидных фаз в алюминиевом слое увеличивается, а при 950°С алюминиевый слой практически отсутствует (рис. 4з).

Разрушение образцов СКМ никель-алюминий при прочностных испытаниях по данным элементного анализа поверхности разрушения происходит по фазе Ni_2Al_3 (рис. 5). Кроме того, на поверхности разрушения видны остатки флюса, что и отражает химический анализ.

Выводы

1. Сила смачивания никеля алюминиевым расплавом увеличивается с повышением температуры и достигает своего максимума при 750 °С. При более высоких температурах дальнейшего увеличения силы смачивания не наблюдается.

2. Прочность сцепления алюминия и никеля при формировании СКМ с повышением температуры снижается, что связано с увеличением толщины интерметаллидного переходного слоя.

3. На границе никель – алюминий формируется переходный слой, состоящий из послойно расположенных интерметаллидных фаз Ni_2Al_3 и $NiAl_3$. Разрушение образцов происходит по фазе Ni_2Al_3 .

Литература

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгунов В.Г. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов. М.: Металлургиздат, 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. Ковтунов, А.И., Мямин, С.В., Чермашенцева Т.В. Исследование влияния кремния на свойства СКМ сталь-алюминий. Технология металлов. 2010, № 12, с. 35 – 40.
4. Ковтунов А.И., Мямин С.В., Чермашенцева Т.В. Исследование влияния титана на свойства слоистых композиционных материалов сталь-алюминий. Цветные металлы, 2011, № 1, с. 87 – 90.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник. В 3 т. Т.1 Под общ. ред. Н.П.Лякишева. М.: Машиностроение, 1996, 992 с.
5. Raghavan V. Al-Fe-Ni (Aluminum-Iron-Nickel). Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 2009, v. 30, no. 1, p. 85 – 88.

Статья поступила в редакцию 1.04.2013 г.

Ковтунов Александр Иванович — Тольяттинский государственный университет (г. Тольятти), доктор технических наук, профессор. Специалист в области физико-химического взаимодействия алюминия и железа при сварке, наплавке и литейных процессах. E-mail: akovtunov@rambler.ru.

Мямин Сергей Владимирович — Тольяттинский государственный университет (г. Тольятти), аспирант, инженер. Специализируется в области жидкофазного формирования слоистых композиционных материалов сталь – алюминий. E-mail: Oddknock@rambler.ru.

Плахотный Денис Иванович — Тольяттинский государственный университет (г. Тольятти), магистрант, инженер. Специализируется в области формирования жаростойких и износостойких покрытий. E-mail: d01125@mail.ru.