

УДК 669.018.6

Диффузионные процессы на межслойной границе СКМ АД1+Х20Н80 при жидкофазном взаимодействии

Слаутин Олег Викторович

ovslautin@yandex.ru

SPIN-код: 6309-9347

Шморгун Виктор Георгиевич

vgshmorgun@mail.ru

SPIN-код: 5595-5489

Проничев Дмитрий Владимирович

avatar@mail.ru

SPIN-код: 4290-3737

Седов Дмитрий Эдуардович

sedov.dima2003@yandex.ru

SPIN-код: 54542-808

ВолгГТУ, Волгоград, Россия

Аннотация. Исследована трансформация структуры и фазового состава на межслойной границе СКМ АД1+Х20Н80 при нагреве выше температуры эвтектического превращения. Показана возможность формирования в составе диффузионной зоны структуры от «строчечной» до матричной (твердостью от 6 до 7 ГПа).

Ключевые слова: слоистый композиционный материал, сварка взрывом, термообработка, жидкофазное взаимодействие, интерметаллиды

Введение. Выбор СКМ АД1+Х20Н80 в качестве объекта исследования обусловлено следующим. Систему Al-Ni-Cr можно рассматривать в качестве перспективной для создания алюминиевых сплавов, армированных интерметаллидными слоями. Последнее обусловлено тем, что Cr способствует подавлению мартенситных превращений в процессе формирования интерметаллидных слоев, что снижает вероятность их охрупчивания в области низких температур [1]; сплавы системы Ni-Cr-Al с содержанием Cr не менее 15 % хорошо сопротивляются низкотемпературной сульфидной и высокотемпературной коррозии [2]; частичная замена Ni менее дорогим Cr способствует снижению стоимости армированного сплава.

Поскольку добиться значительного увеличения интенсивности диффузионных процессов на межслойных границах слоистых композитов можно за счет проведения термообработки (ТО) при температуре выше температуры эвтектического превращения, целью настоящей работы являлось исследование трансформации структуры и фазового состава СКМ АД1+Х20Н80 при его нагреве выше температуры эвтектического превращения.

Методы и материалы; результаты. Исследования проводили на сваренном взрывом композите АД1 + Х20Н80 с толщинами слоев 2 мм. Отжиг осуществляли в печи СНОЛ-1.6.2.51/11-ИЗ. Металлографические исследования осуществляли с применением оптической (Olympus BX61) и электронной (растровый электронный микроскоп Versa 3D) микроскопии. Химический состав диффузионной зоны (ДЗ) определяли с помощью энергодисперсион-

ного спектрометра EDAX Trident XM 4. Рентгеноструктурный анализ выполняли на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE ECO в излучении медного анода ($\lambda = 1,5418\text{\AA}$). Микродюрометрические исследования проводили на приборе ПМТ-3М.

Установлено, что рост ДЗ при $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит как в сторону АД1, так и в сторону Х20Н80. При $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит частичное расплавление алюминиевого слоя и трансформация его структуры. Твердость трансформированного слоя алюминия (ТСА) составляет 6,0–6,5 ГПа. На его границе с Х20Н80 образуется ДЗ, состоящая из одной прослойки, которая в исследованном диапазоне времени выдержки 1–10 ч растет по толщине от 10 до 70 мкм и обладает твердостью 7–8 ГПа. При выдержке 1 ч в ТСА формируется «строчечная» (многослойная) структура с чередующимися слоями CrAl_7 и NiAl_3 . Увеличение времени выдержки до 10 ч позволяет сохранить «строчечную» структуру в ТСА без визуальных изменений, однако сами «строчки» несколько увеличиваются по толщине. В переходной зоне толщиной ≈ 3 мкм между Х20Н80 и слоем со строчечной структурой происходит плавное снижение содержания Al и увеличение концентрации Cr и Ni.

Повышение температуры ТО до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ уже при 1 ч выдержке позволило сформировать ТСА с матричной структурой твердостью 6–7 ГПа, толщина переходной зоны между Х20Н80 и ТСА составляет около 2 мкм. С увеличением времени выдержки до 10 ч увеличивается объемная доля интерметаллида NiAl_3 в матрице ТСА, интерметаллид CrAl_7 преобладает у поверхности. Данные РСА показали, что при увеличении времени выдержки до 10 ч в ТСА, наряду с ранее идентифицированными фазами (NiAl_3 и CrAl_7) зафиксирована фаза Ni_2Al_3 .

Заключение. При $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит частичное расплавление алюминиевого слоя и формирование «строчечной» структуры твердостью 6,0–6,5 ГПа с чередующимися слоями интерметаллидов CrAl_7 и NiAl_3 , размер которых увеличивается с ростом времени ТО. При $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ формируется матричная структура твердостью 6–7 ГПа с наполнением ее центральной части фазой NiAl_3 , а у поверхности — фазой CrAl_7 .

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2026-0003 на основании соглашения № 075-03-2026-526 от 16.01.2026).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Lazurenko D. Ti–Al₃Ti metal-intermetallic laminate (MIL) composite with a cubic titanium trialuminide stabilized with silver: Selection of fabrication regimes, structure, and properties. Journal of Alloys and Compounds, 2022, vol. 916, art. no. 165480. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165480>
- [2] Bataev I.A. Structural and mechanical properties of metallic–intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing. Mater. Des., 2012, vol. 35, pp. 225–234.