

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Наумова Е.А.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
г. Москва, Россия, E-mail: jan73@mail.ru

Введение

С середины 90-х годов авторами [1,2] были разработаны высокопрочные и жаропрочные сплавы на основе Ni-содержащих и Ce-содержащих эвтектик. Можно выделить два типа эвтектических сплавов:

1. Сплавы оптимизированного состава, со средним и низким содержанием эвтектических интерметаллидов, сочетающие высокие литейные и механические свойства (высокопрочные никелины АЦ7НЖ, АЦ6Н0,5Ж). Их можно условно назвать деформируемыми эвтектическими сплавами.

2. Сплавы композитного типа, структура которых состоит из матрицы – легированного алюминиевого твердого раствора (Al) и армирующего компонента, в качестве которого выступают эвтектические интерметаллиды округлой формы и разной степени дисперсности. По структуре они сходны с гранулируемыми сплавами, полученными при скоростях охлаждения порядка 10^4 K/c [3].

В работе [2] были исследованы сплавы второй группы системы Al-Ce-Ni на основе тройной эвтектики (Al)+Al₄Ce+Al₃Ni. Сравнение низко- и высокотемпературных механических свойств, а также литейных характеристик показало, что экспериментальная композиция Al-12%Ce-5%Ni-0,5%Zr по совокупности основных показателей превосходит известные жаропрочные литейные сплавы AM5 (AL19), АК12ММгН (AL30) и АЦр1у.

Авторы [1] в качестве перспективного эвтектикообразующего элемента рассматривают кальций. Это сравнительно не дорогостоящий компонент, снижающий плотность и повышающий коррозионную стойкость алюминиевых сплавов. Многокомпонентные сплавы на основе кальцийсодержащих эвтектик высокотехнологичны как при литье, так и при деформации. Перед деформацией их обычно отжигают для повышения пластичности [1]. В данной работе ставилась задача сравнить структуру литых сплавов двойных систем Al-Ca, Al-Ce, Al-Ni, тройных систем Al-Ce-Ni, Al-Ca-Ni и четверной системы Al-Ca-Ce-Ni, а также исследовать влияние режимов сфероидизирующего отжига на формоизменение эвтектических интерметаллидов.

Экспериментальные методики

Экспериментальные сплавы (табл. 1) плавил в электропечи сопротивления фирмы LAC в графитошамотных тиглях. Термообработку отливок проводили в муфельных электрических печах SNOL 8,2/1100 с точностью поддержания температуры 5°C. Микроструктуру образцов изучали на оптическом микроскопе OlympusGX51 (OM) и сканирующем электронном микроскопе TESCANVEGA 3 (СЭМ). Твердость измеряли по Бринеллю (согласно ГОСТ 9012-59). Для расчета фазового состава экспериментальных сплавов использовали программу Thermo-Calc (база данных TTAL5) [5].

Результаты и их обсуждение

Все исследованные сплавы имеют в литом состоянии эвтектическую или доэвтектическую структуру, состоящую из дендритов алюминиевого твердого раствора (Al) и эвтектики с очень тонким строением. Двойные эвтектические сплавы незначительно отличаются друг от друга по размеру частиц эвтектических интерметаллидов, а у тройных и четверного сплавов несколько более тонкое строение, чем у двойных (табл. 1).

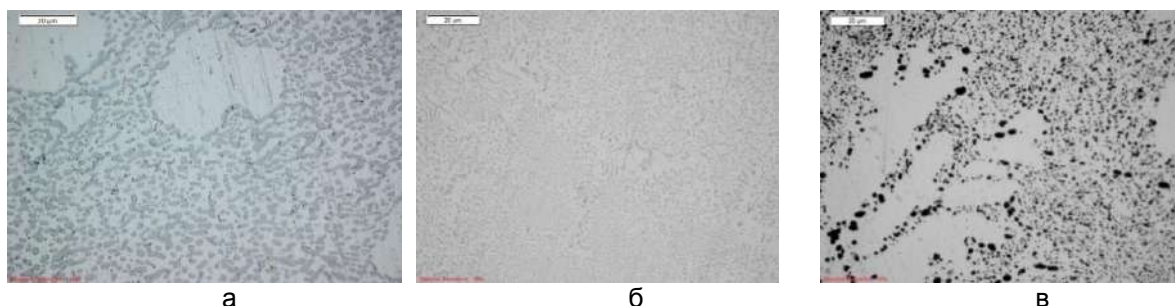


Рисунок 1 – Структура двойных сплавов после термообработки 600⁰ С, 3ч., ОМ, х1000:
а) Al-7,6%Ca; б) Al-12%Ce; в) Al-6%Ni

В структуре сплава с 12%Ce наблюдается небольшое количество первичных кристаллов фазы Al₄Ce. Возможно, эвтектическая концентрация несколько ниже, чем указано в [4]. В процессе нагрева при температурах от 450⁰ С до 600⁰ С с интервалом 50⁰ С и выдержкой на каждой ступени по 3 часа, эвтектические интерметаллиды дробятся на фрагменты, затем эти фрагменты округляются и при температуре 600⁰ С укрупняются, но в разных сплавах по-разному. Твердость, при этом, закономерно снижается (табл. 1).

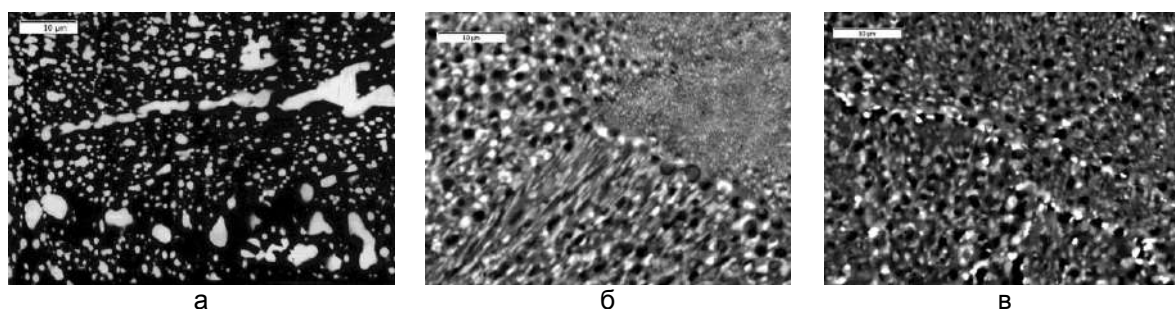


Рисунок 2 – Структура сплавов после термообработки 600⁰ С, 3ч., СЭМ, х5000:
а) Al-12%Ce-5%Ni; б) Al-6%Ca-3%Ni; в) Al-6%Ca-3%Ni-2%Ce

Таблица 1 – Характеристики структуры экспериментальных сплавов

Сплав	Эвтект. интерметаллиды	Qм, % (масс.), Thermo-Calc [5]	Размер частиц эвт. интермет. d, мкм		НВ (5/250)	
			Лит. сост.	После отж. 600 ⁰ С, 3ч.	Лит. сост.	После отж. 600 ⁰ С, 3ч.
Al-12%Ce	Al ₄ Ce	20,5	0,6-1,5	до 1,8	59,6±2,0	46,3±1,5
Al-6%Ni	Al ₃ Ni	14,3	0,4-0,8	до 5	65,5±1,5	38,7±2,4
Al-7,6%Ca	Al ₄ Ca	29,5	0,5-1,0	до 3-5	95,2±2,2	60,1±2,0
Al-12%Ce-5%Ni	Al ₄ Ce	20,5	0,05-0,1	до 5-10	84,2±2,1	57,0±1,2
	Al ₃ Ni	11,9				
Al-6%Ca-3%Ni*	Al ₄ Ca	21,0	0,2-0,3	до 2	75,0±1,7	67,0±2,5
	Al ₃ Ni	7,0				
Al-6%Ca-3%Ni-2%Ce*	Al ₄ Ca	21,0	0,1-0,2	до 2	76,1±1,9	67,6±2,4
	Al ₃ Ni	7,0				
	Al ₄ Ce	3,4				

*При расчете фазового состава сплава не учитывалось образование тройных соединений [5].

Заключение

В результате исследований установлено, что фрагментация эвтектических интерметаллидов в сплавах Al-7,6%Ca и Al-12%Ce-5%Ni начинается при 450⁰ С, в сплавах Al-6%Ni, Al-6%Ca-3%Ni и Al-6%Ca-3%Ni-2%Ce при 500⁰ С, а в сплаве Al-52

12%Ceфрагментация начинается при температуре выше 550⁰ С. Скорее всего, это связано с высокой жаропрочностью фазы Al₄Ce. Термическую стабильность сплавов Al-6%Ca-3%Ni и Al-6%Ca-3%Ni-2%Ce можно связать с наличием в их структуре тройных интерметаллидов. Для установления точного фазового состава этих сплавов нужны дополнительные исследования. Проведенное исследование позволяет скорректировать режимы термической обработки перспективных эвтектических композиций на основе алюминия.

Работа проведена в рамках гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ, НШ-9899.2016.8.

Список литературы

1. Белов Н.А., Наумова Е.А., Акопян Т.К.«Эвтектические сплавы на основе алюминия: новые системы легирования», М.: Руда и металлы, 2016, 250 с.
2. Belov, N.A., Naumova E.A., and Eskin, D.G. Casting alloys of the Al-Ce-Ni System: Microstructural Approach to Alloy Design // Mater. Sci. Eng. A, 1999, Vol.271, P.134-142.
3. Добаткин В. И., Елагин В. И., Федоров В. М. – Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. – М.: ВИЛС, 1995, 245с.
4. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов/ Пер, с англ, – М.: Металлургия, 1979, 640 с.
5. Информация на сайте www.thermocalc.com.