

Ст. преподаватель О.И. Мамзурина, доцент, к.т.н. Р.Ю. Барков,
доцент, к.т.н. А.В. Поздняков., м.н.с. М.В. Главатских

Аннотация

Исследованы литая микроструктура и эволюция фазового состава в процессе термической обработки новых сплавов систем Al-Cu-Yb/Gd при легировании Zr и Mn. Легирование Mn обеспечивает образование новой фазы $Al_{80-88}Cu_{8-12}Yb_{3-4}Mn$ или $Al_{78-86}Cu_{10-15}Gd_{3-5}Mn$ и перераспределение Cu между твердым раствором Al и интерметаллидными фазами. В микроструктуре выделяют три типа выделений после гомогенизации, закалки и старения. Фазы $Al_3(Zr,Yb)/Al_3(Zr,Gd)$ и $Al_{20}Cu_2Mn_3$ зародились во время гомогенизационного отжига, а дискообразные выделения $\theta'(Al_2Cu)$ диаметром 150–300 нм и толщиной 2–5 нм - в процессе старения.

Введение

В последнее время много работ посвящено изучению влияния переходных и редкоземельных металлов (РЗМ) на фазовый состав, характер выделений в процессе старения и механические свойства алюминиевых сплавов 2XXX серии. Присутствие термически стабильных выделений фазы $Al_3(РЗМ,Zr)$ может дополнительно повысить механическую прочность как при комнатной, так и при повышенной температуре за счет торможения дислокаций на выделившихся дисперсоидах и содействия выделению упрочняющей фазы Al_2Cu .

Цель исследования

Определить влияние легирования сплавов Al-Cu-Yb/Gd цирконием и марганцем на фазовый состав, размер зерна, легированность твердого раствора и на продукты старения.

Методика исследований и Результаты

Сплавы выплавлены в печи сопротивления из алюминия марки А99, меди марки М0 и лигатур Al-(8-10)%Yb, Al-(8-10)%Gd, Al-5%Zr, Al-(10-12)%Mn. Температура расплава перед разливкой составляла 750-820 °С в зависимости от концентрации легирующих элементов. Заливку производили в водоохлаждаемую медную изложницу. Термическую обработку проводили в печах «Nabertherm» и «Snol» с вентилятором и точностью поддержания температуры примерно 1 °С. Слитки сплавов гомогенизировали при температуре примерно на 10 °С ниже, чем температура солидуса, в течение 1, 3 и 6 часов, а затем закачивали в воде.

Микроструктурные исследования и идентификацию фаз проводили на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «TESCAN VEGA 3LMH» с использованием энергодисперсионного детектора X-Max 80 и на рентгеновском дифрактометре «Bruker D8 Advance» с монохроматическим Cu-K α излучением. Процессы распада твердого раствора исследованы на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) «JEOL 2000-EX» при ускоряющем напряжении 120 кВ. Дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК) «Labsys Setaram» использован для определения температур ликвидуса и солидуса.

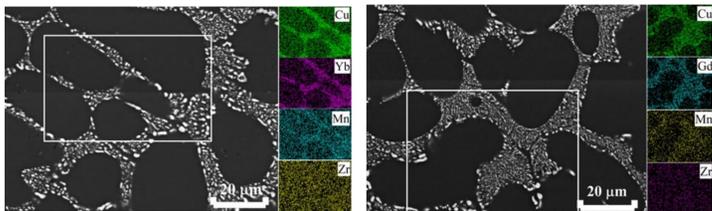
Состав, температуры солидуса, ликвидуса и гомогенизации сплавов

Обозначение сплава	Массовая доля компонентов, %				$T_{л}, ^\circ C$	$T_{с}, ^\circ C$	$T_{гом}, ^\circ C$
	Cu	Yb/Gd	Zr	Mn			
AlCuYb	4,4	2,5	-	-	635	600	590
AlCuGd	4,5	2,5	-	-	634	615	605
AlCuYbZr	4,4	2,5	0,4	-	640	603	590
AlCuGdZr	4,5	2,5	0,4	-	640	613	600
AlCuYbZrMn	4,1	2,2	0,4	0,8	639	607	590
AlCuGdZrMn	4,2	2,2	0,4	0,8	639	615	605

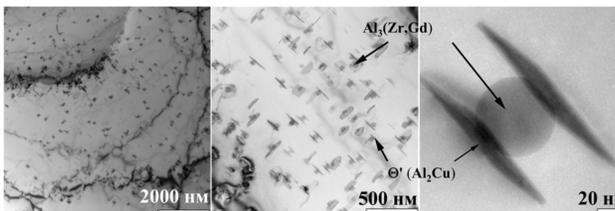
В процессе гомогенизационного отжига происходит:

- Полное насыщение (Al) медью для упрочнения твердого раствора;
- Изменение морфологии равновесных фаз кристаллизационного происхождения, их фрагментация, сфероидизация и коагуляция;
- Растворение неравновесных фаз кристаллизационного происхождения;
- Распад пересыщенного РЗМ твердого раствора (Al) с образованием дисперсоидов $L1_2$ ($Al_3(Zr,Yb)$) или $L1_2$ ($Al_3(Zr,Gd)$), $Al_{20}Cu_2Mn_3$

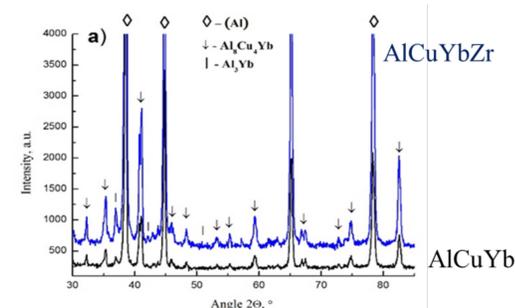
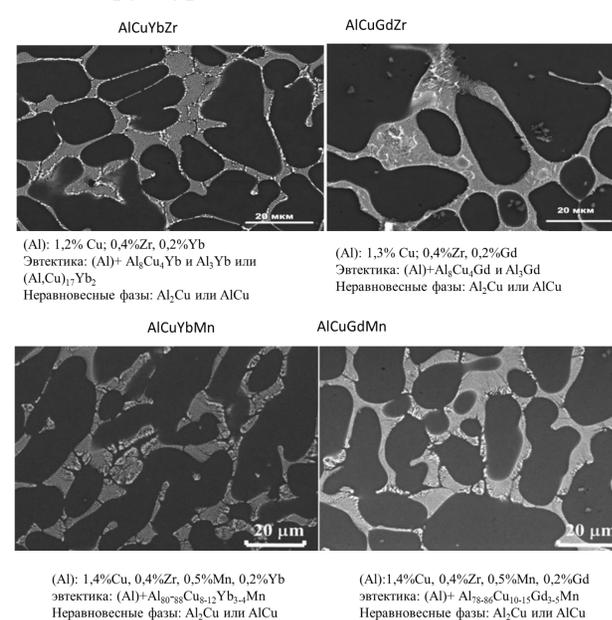
Микроструктура (СЭМ) сплавов AlCuYbMn и AlCuGdMn после 3 часов гомогенизации перед закалкой



Микроструктура (ПЭМ) сплава AlCuGdZr после 3 ч гомогенизации перед закалкой и старения при 210 °С



Структура сплавов после литья



Выводы

- 1 Тройные сплавы Al-Cu-Yb/Gd (атомное соотношение концентраций Cu/Yb и Cu/Gd должно составлять 4/1), последовательно легированные дисперсоидообразующими цирконием и совместно Zr и Mn в литом состоянии имеют микроструктуру, состоящую преимущественно из двух элементов: дендритов твердого раствора Al и дисперсной эвтектики;
- 2 В процессе гомогенизационного отжига происходит увеличение концентрации Cu в (Al) за счет растворения неравновесных фаз; фазы эвтектического происхождения изменяют морфологию; выделяются дисперсоиды $L1_2$ ($Al_3(Zr,Yb)$) или $L1_2$ ($Al_3(Zr,Gd)$) и $Al_{20}Cu_2Mn_3$;
- 3 Содержание 2,1-2,4 % Cu в (Al) в сплавах AlCuYbZrMn/AlCuGdZrMn значительно выше, чем в сплавах AlCuYbZr/AlCuGdZr, не содержащих Mn;
- 4 В процессе старения фазы $Al_3(Zr,Yb/Gd)$ эффективно облегчают гетерогенное зародышеобразование $\theta'(Al_2Cu)$.