

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Al-14%Cu-7%Ce

Могучева А. А., Журавлева М. А.

Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия
mogucheva@bsu.edu.ru

Одним из перспективных материалов для изготовления легких и прочных проводников является сплав системы Al-Cu-Ce. Выбор меди и церия обусловлен тем, что в системах на основе алюминия они образуют большое количество эвтектических фаз, что обеспечивает высокую механическую прочность проволоки, которая сочетается с высокой электропроводностью и низкой по сравнению с медными сплавами плотностью. Кроме того, эти металлы достаточно широко используются в промышленности, т.е. являются доступными. Однако, в литературе мало данных по структуре и свойствам сплавов на основе тройной эвтектики Al-Cu-Ce и ее трансформации в процессе термообработки.

Для получения данных о микроструктуре и прочностных характеристиках алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Ce был изучен сплав Al-14%Cu-7%Ce в исходном литом состоянии, а так же после проведения термической обработки при различных температурах для выбора оптимальной температуры для дальнейшего проведения пластической деформации. Микроструктура была исследована с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) Quanta600 3D, химический анализ проводился с помощью приставки для химического анализа на Quanta600.

В исходном литом состоянии структура неоднородная, делится на две области с однородным распределением частиц эвтектики Al_3CeCu_4 и с неоднородным распределением, где присутствуют области практически чистого алюминия (согласно химическому анализу в твердом растворе алюминия содержится не более 2% Cu) без выделения эвтектики. Однородное распределение частиц тройного соединения преимущественно располагается в центре образца. В исходном состоянии размер пластин эвтектики составлял более 10 мкм в длину, средняя толщина пластин около 0,4 мкм.

Для получения более однородной структуры и повышения пластических характеристик при сохранении удовлетворительной прочности проводили отжиг в интервале температур 500–600°C с шагом 10°C в течение 1 и 3 часов. После отжига при температуре 500°C в течение 3 часов пластины частично фрагментируются, увеличиваются по толщине и уменьшаются в длину по сравнению с исходным состоянием; их размер составляет 3,3 мкм в длину и 0,7 мкм в толщину. При увеличении температуры отжига с 500°C до 580°C пластины продолжают фрагментироваться, но остается большая доля длинных тонких пластин. Микроструктурный анализ сплава после термической обработки показал, что при температуре 540°C происходит фрагментация частиц тройного соединения Al_3CeCu_4 . При этом их размер не превышает 2 мкм. Такая структура не представляет практического интереса, что подтверждают механические испытания. Отжиг при температуре 580°C в течение 3 часов приводит к полной фрагментации частиц тройного соединения, их размер ~1 мкм, но структура по-прежнему остается неоднородной, присутствуют крупные включения. Увеличение температуры отжига до 600°C и выдержке при этой температуре в течение 1 часа приводит к уменьшению размера частиц эвтектики до 0,9 мкм и более равномерному их распределению, увеличение времени выдержки до 3 часов при 600°C приводит к небольшой коагуляции частиц, что положительно сказывается на прочностных характеристиках алюминиевого сплава.

На рис. 1 представлена микроструктура алюминиевого сплава в исходном литом состоянии (рис. 1 а, б) и после отжига при температуре 600°C с выдержкой 3 часа (рис. 1в, г).

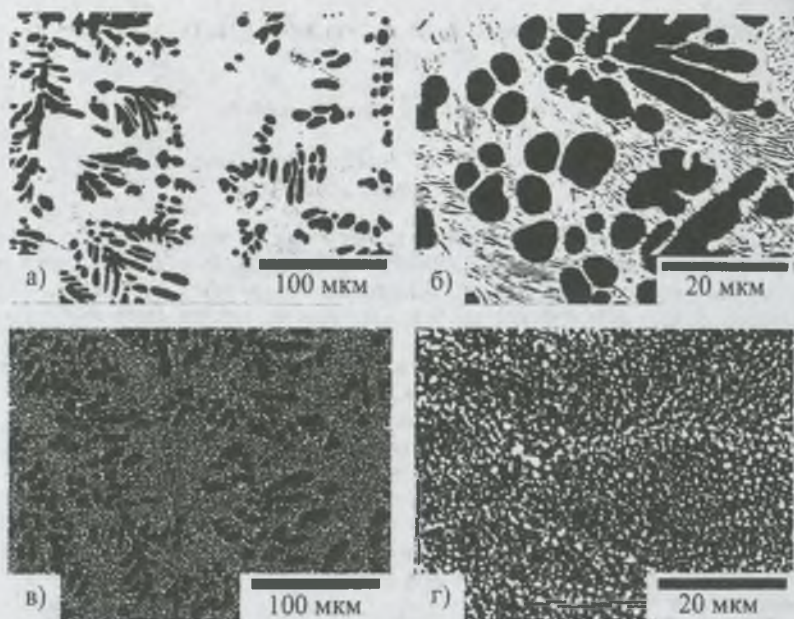


Рис. 1. Микроструктура алюминиевого сплава Al-14%Cu-7%Ce: а, б – литое состояние; в, г – после отжига в течение 3 часов при температуре 600°C

В исходном состоянии присутствуют крупные безэвтектические области около 20 мкм в длину и 10 мкм в толщину, расположены они неоднородно (рис. 1а). Они обнаруживаются при исследовании микроструктуры во всех отожженных состояниях, постепенно уменьшаясь с увеличением температуры отжига до 600°C. В микроструктуре после отжига 600°C в течение 3 часов (рис. 1в) так же присутствуют области практически чистого алюминия без выделившейся эвтектики, но их расположение более однородно и размер уменьшается по сравнению с исходным состоянием.

Статические испытания на растяжение проводили на плоских образцах с длиной рабочей части 16 мм и площадью поперечного сечения $1,5 \times 3 \text{ мм}^2$ при комнатной температуре со скоростью деформации $2,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ по схеме равноосного растяжения на универсальной испытательной машине Instron 5882. Определяли влияние отжига при различных температурах на временное сопротивление разрыву σ_b и относительное удлинение δ сплава Al-Ce-Cu.

В исходном состоянии $\sigma_{0,2} = 125 \text{ МПа}$, $\sigma_b = 260 \text{ МПа}$, $\delta = 6,2 \%$. Образец испытал хрупкое разрушение, однородно деформировался без образования шейки вплоть до момента разрыва. После проведения отжигов при различных температурах, механические свойства образцов изменились. Механические испытания показали, что деформация образцов после отжига сопровождается прерывистым течением (ПТ), проявляющемся в виде зубчатости на кривых σ - ϵ (рис.2).

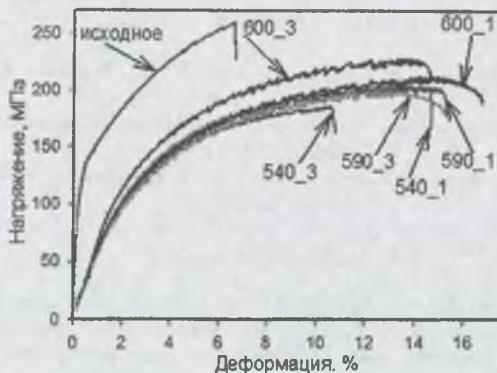


Рис. 2. Диаграмма растяжения сплава Al-Ce-Cu

Отжиг оказывает влияние на прочностные характеристики сплава, понижая их, при этом значительно увеличивая пластичность. После отжига при 540°C пластичность сплава Al-14%Cu-7%Ce возрастает, прочность сплава остается на достаточно хорошем уровне. Сравнение данных показало, что оптимальной температурой нагрева, обеспечивающей максимальные прочностные свойства, является 600°C при выдержке в течение 3 часов $\sigma_{0,2} = 105$ МПа, $\sigma_b = 230$ МПа, $\delta = 11,6$ %. Все данные по механическим свойствам после испытаний на растяжение сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Прочностные характеристики алюминиевого сплава Al-14%Cu-7%Ce

Состояние	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
Исходное состояние	125	260	6,2
Литое состояние + отжиг 540°C 1 ч	87	205	11,6
Литое состояние + отжиг 540°C 3 ч	81	185	7,9
Литое состояние + отжиг 590°C 1 ч	86	205	12,1
Литое состояние + отжиг 590°C 3 ч	84	200	12,1
Литое состояние + отжиг 600°C 1 ч	89	215	13,6
Литое состояние + отжиг 600°C 3 ч	105	230	11,6

Выводы

1. Отжиг алюминиевого сплава Al-Ce-Cu приводит к изменению структуры, частицы тройной эвтектики из пластинчатой фазы превращаются в глобулярные. После отжига при $T=600^\circ\text{C}$ в течение 3 часов формируется глобулярная структура эвтектических фаз размером $\sim 1,2$ мкм.

2. Отжиг при температуре 600°C с выдержкой 3 часа повышает пластичность в два раза по сравнению с исходным состоянием сплава. Временное сопротивление разрыву уменьшается с 260 до 230 МПа, а предел текучести от 125 МПа до 105 МПа.