

Влияние термической обработки на структурно-фазовый состав и микротвердость фольг сплава 1191 системы Al–Mg–Cu

И. А. Столяр^a, В. Г. Шепелевич^a, И. И. Ташлыкова-Бушкевич^b

^a Белорусский государственный университет, 220050 Минск, Беларусь

^b Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
220013 Минск, Беларусь
E-mail: iuiana@gmail.com

Введение. В настоящее время одна из актуальных задач современного материаловедения – это расширение номенклатуры изделий из магнийсодержащих алюминиевых сплавов за счет поиска энергоэффективных технологий синтеза и выбора оптимальных режимов упрочняющей термообработки для решения проблемы отрицательного влияния высоких температур на физико-механические свойства материалов. При разработке перспективных свариваемых сплавов Al повышение прочности материалов достигается совместным легированием алюминия медью и магнием. Система Al–Mg–Cu является основой так называемых дюралюминов, которые наряду со сравнительно высокими значениями прочностных характеристик обладают хорошей пластичностью, и используются в различных областях техники, в том числе ракетно-космической [1,2]. Цель данной работы – модифицировать структуру и физические свойства промышленного деформируемого сплава 1191 системы Al–Mg–Cu с помощью сверхбыстрой закалки из расплава и определить влияние термической обработки на структуру и механические свойства быстрозатвердевших (БЗ) фольг.

Методика эксперимента. Исследуемые в работе фольги промышленного деформируемого сплава 1191 (Al-3,17% Mg-1,55% Cu-0,39% Mn-0,15% Fe) (ат.%) были получены методом одностороннего охлаждения со скоростью охлаждения расплава ~ 10⁶ K/c. Изучение фольг было выполнено с помощью метода рентгеновского фазового анализа на дифрактометре Rigaku Ultima IV. Изохронный отжиг фольг проводился от комнатной температуры до 470°C с интервалом 20°C и выдержкой 30 мин при каждой температуре. Микротвёрдость H_{μ} измерялась с помощью прибора MVD 402 Wolpert Wilson Instruments. Погрешность измерений составила 4%.

Результаты и их обсуждение. В свежезакаленных БЗ фольгах сплава 1191 обнаружены первичные выделения θ -фазы (Al₂Cu). Рефлексы θ -фазы также наблюдаются в интервале температур отжига до 400°C (рис. 1, а). Дополнительно на всех полученных дифрактограммах присутствуют рефлексы оксида алюминия Al₂O₃. При увеличении температуры отжига до 150°C и выше появляются дифракционные пики фазы S (Al₂CuMg) (рис. 1, б). Интенсивность рефлексов θ - и S-фаз возрастает после отжига при 270 °C и затем снижается с ростом температуры отжига. При температурах отжига 270 и 400°C наблюдаются рефлексы β -фазы (Al₃Mg₂) (рис. 1, в).

Установлено, что микротвердость свежезакаленных БЗ фольг сплава 1191 в 1,4 раза превышает микротвердость литого образца, равную 860 МПа, и достигает 1221 МПа. Данное различие указывает на преобладающее действие твердорастворного механизма упрочнения за счет образования пересыщенного твердого раствора при высокоскоростном затвердевании. Зависимость H_{μ} фольг сплава от температуры изохронного отжига приведена на рис. 2. Обнаружен рост микротвердости в интервале температур отжига от 100 до 190°C с максимальным значением $H_{\mu} = 1360$ МПа. Продолжение нагрева выше 190°C вызывает монотонное уменьшение H_{μ} . При отжиге выше 320°C H_{μ} практически не изменяется и составляет 830 МПа.

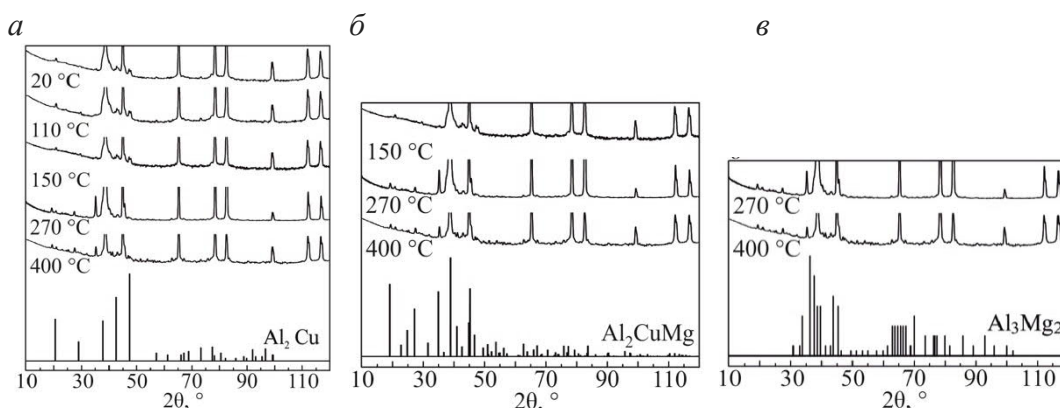


Рис. 1. Дифрактограммы фольг сплава 1191, содержащие линии фаз Al₂Cu (а), Al₂CuMg (б), Al₃Mg₂ (в).

При низкотемпературном отжиге БЗ фольг сплава 1191 (рис. 2) обнаруженный рост микротвердости может быть обусловлен процессами образования атомами меди и магния зон Гинье-Престона (ГП), а также метастабильных упрочняющих фаз, таких как θ'' , θ' и S' согласно современным представлениям о последовательности выделения фаз в сплавах системы Al–Mg–Cu [1]. Снижение H_{μ} при температурах отжига выше 190 °C можно связать с процессами замены менее стабильных выделений более стабильными, а также уменьшением легированности матрицы при преципитации стабильных фаз θ (Al₂Cu), S (Al₂CuMg) и β (Al₃Mg₂) (рис. 1) и протекающими процессами коагуляции выделений, в результате чего расстояние между частицами растёт.

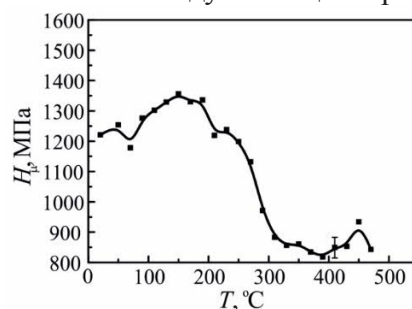


Рис. 2. Изменение микротвердости фольг сплава 1191 при изохронном отжиге.

Заключение. В работе обнаружено, что легирование системы Al–Mg медью приводит при низкотемпературном отжиге до 190 °C к повышению значений микротвердости БЗ фольг за счет формирования метастабильных выделений Cu- и Mg-содержащих фаз. Появление стабильных фаз θ , S и β приводит к разупрочнению сплава системы Al–Mg–Cu в интервале температур отжига 190-300 °C. Необходимы дополнительные структурные исследования, чтобы определить, выделения каких метастабильных фаз обеспечивают максимальное упрочнение фольг сплава 1191 при низкотемпературном отжиге.

Литература.

1. Кайбышев Р. О. / Влияние термомеханической обработки на микроструктуру и механические свойства термоупрочняемого сплава системы Al–Cu–Mg–Mn // ТЛС. - 2015. - № 2. - С. 63-75.
2. Чирков Е. Ф. / О природе воздействия Cu и Mg на эволюцию структуры и жаропрочность алюминиевых сплавов системы Al–Cu–Mg // ТЛС. - 2002. - №4. - С. 64-70.