

Исследование влияния термообработки на структуру, фазовый состав и механические свойства сплава МЛ12 с добавкой наночастиц AlN*

А.А. Ахмадиева¹, А.П. Хрусталёв¹, В.Д. Валихов¹, М.Г. Хмелёва¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Исследовано влияние наночастиц AlN с концентрацией 0.1, 0.5 и 1 мас.% на структуру и свойства магниевого сплава МЛ12. Показано, что добавки 0.5 и 1 мас.% обеспечивают равномерную зеренную структуру (средний размер зерна 46 и 54 мкм), тогда как термообработка способствует гомогенизации без изменения среднего размера зерна. Максимальный прирост прочности (до 212 МПа) и пластичности (до 19.7%) достигается при 0.1 мас.% AlN. Установлено, что доминирующим механизмом упрочнения является дисперсное упрочнение.

Ключевые слова: магний, магниевые сплавы, нитрид алюминия, микроструктура, наночастицы, физико-механические свойства, упрочнение, термообработка.

Введение

Магниевые сплавы благодаря технологическим и эксплуатационным характеристикам, а также низкой плотности, хорошей обрабатываемости и удельной прочности являются материалами нового поколения для использования в космической, авиационной и автомобильной промышленности [1]. Существенными недостатками магниевых сплавов являются плохая формуемость, недостаточная механическая прочность и коррозионная стойкость. Создание литых магниевых сплавов с повышенными прочностными характеристиками может способствовать расширению области их применения [2].

Одним из перспективных литейных магниевых сплавов является сплав МЛ12 системы Mg–Zn–Zr, основным механизмом упрочнения в котором является твердорастворный механизм, связанный с растворимостью легирующих компонентов (Zn, Zr, Cd и др.) в магнии [3]. Наличие в сплаве циркония обеспечивает мелкозернистую структуру, так как цирконий является одним из наиболее эффективных измельчителей зерна в магниевых сплавах, не содержащих алюминий [4]. Связано это с тем, что цирконий, как и магний, имеет ГПУ-решетку со схожими параметрами, поэтому частицы циркония выступают в роли ядер магния, образуя дополнительные центры кристаллизации, а также ограничивают рост зерен при затвердевании, растворяясь в жидком магнии [5].

Структура литого сплава представляет собой твердый раствор цинка и циркония в магнии (Mg), по границам зерен которого располагаются включения интерметаллидной фазы MgZn. В результате термообработки фаза MgZn и твердый раствор на основе Zr осаждаются из пересыщенного твердого раствора, упрочняя его [6]. В многочисленных работах [7] в качестве режима термообработки сплава МЛ12 используется режим Т1 (низкотемпературный отжиг при 300 °С в течение 6 ч с охлаждением на воздухе).

Известны методы увеличения механических характеристик магниевых сплавов за счет дисперсного упрочнения нано- и микроразмерными тугоплавкими частицами [8]. Нитрид алюминия (AlN) [9] выступает перспективным соединением для упрочнения магниевых сплавов, поскольку он имеет ГПУ-структуру с параметрами решетки $a = 0.312$ нм и $c = 0.4988$ нм, которые очень близки к параметрам решетки матрицы Mg ($a = 0.3209$ нм и $c = 0.5211$ нм) [10]. Использование наноразмерного нитрида алюминия в качестве армирующих частиц представляет большой интерес за счет высокой удельной прочности и низкого коэффициента теплового расширения, высокой температуры плавления и твердости [11], а также за счет незначительного увеличения себестоимости при малой добавке частиц. Ранее был показан положительный эффект при введении нитрида алюминия с содержанием 0.5 мас.% [12], но комплексные исследования влияния различных со-

* Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-607 от 01/07/2025).