

ЯДЕРНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ФОЛЫГ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Mg–Li ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТЖИГЕ

И.А. Столяр¹⁾, В.Г. Шепелевич¹⁾, Е. Wendler²⁾, А. Undisz²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, uyluana@gmail.com

²⁾Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия



Введение

Методы высокоскоростной кристаллизации позволяют получить Al сплавы, структура и эксплуатационные свойства которых имеют ряд преимуществ по сравнению со сплавами, синтезированными в условиях традиционного литья. К достоинствам сверхбыстрой закалки из расплава относится то, что значительное повышение растворимости легирующих элементов в матрице существенно влияет на размер зерен, кинетику распада пересыщенного твердого раствора и процесс рекристаллизации, позволяя модифицировать технологические свойства сплавов.

Цель

Изучить перераспределение Li по глубине БЗ фольг сплава 1421 при термической обработке и его влияние на структурно-фазовое состояние фольг сплава 1421 при повышенных температурах отжига.

Актуальность

Алюминиевые сплавы системы Al–Mg–Li, модифицируемые введением редкоземельных и переходных металлов, являются перспективными материалами авиакосмической промышленности благодаря малой плотности, высокой прочности и значительной коррозионной стойкости.

Экспериментальные условия

Объект исследования	Свежезакаленные и отожженные при 400°С фольги сплава 1421: Al-5,8% Mg-8,1% Li-0,03% Zr-0,11% Sc (ат. %); ширина фольг составляла 5-10 мм, толщина – 60-100 мкм.
Метод получения фольг	Капля расплава выплескивалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра
Скорость охлаждения расплава	~10 ⁶ К/с
Методы исследования фольг:	Измерение спектров МЯР протонов энергии 1,4 МэВ проводили на ускорителе-тандроне (3 МэВ) JULIA (Jena University Laboratory for Ion Acceleration) с разрешением детектора 15 кэВ. Угол обратного рассеяния $\theta=170^\circ$. Для определения концентрации Li использовался эталонный образец из ниобата лития (LiNbO ₃), содержащего 20,0 ат. % Li. Глубина анализа составила около 22 мкм. Компьютерное моделирование спектров МЯР было выполнено программой SIMNRA.
➤ Метод мгновенных ядерных реакций (МЯР): с использованием реакции ⁷ Li(p, α) ⁴ He	
➤ Метод рентгеноструктурного анализа	Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием Cu _{Kα} .
➤ Микротвёрдость по Виккерсу	Микротвёрдость H_μ измерялась с помощью прибора MVD 402 Wolpert Wilson Instruments с использованием нагрузки 50 г и временем выдержки 30 с.

Результаты

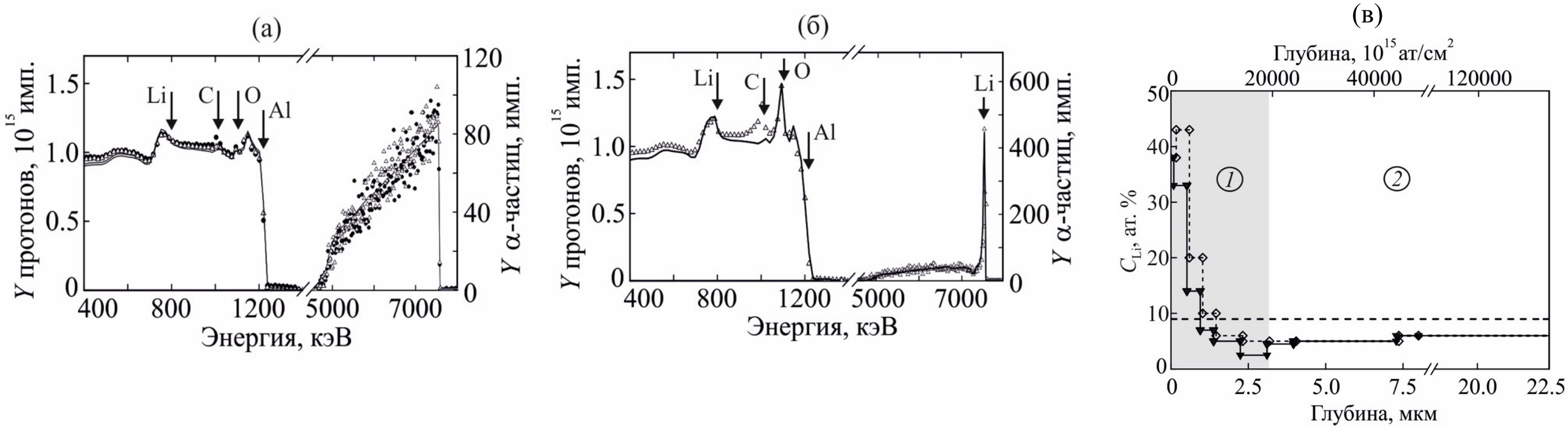


Рис. 1 Типичные экспериментальные (• и Δ) и построенные в программе SIMNRA (–) спектры обратно рассеянных протонов и α-частиц от фольг сплава 1421: поверхность А свежезакаленной фольги (а) и поверхность А (б), отожженная при 380°С. (в) – распределение лития в фольге сплава 1421, отожженной при 380°С: линия -▼-▼-▼- соответствует поверхности А, линия -◇-◇-◇- – поверхности Б. Горизонтальная штриховая линия - - - - задает профиль распределения лития в свежезакаленной фольге

- Li в свежезакаленных фольгах сплава 1421 распределен равномерно (до глубины 22 мкм), $C=9,0$ ат. %, что на 11% превышает расчетную концентрацию Li в сплаве;
- после отжига при температуре 380°С обнаружено перераспределение лития по глубине отожженных фольг;
- в тонком приповерхностном слое толщиной 0,1 мкм концентрация Li составляет 38,0 ат. %. Затем содержание лития снижается до 5,0 ат. % на глубине 4,0 мкм. В слое от 4,0 мкм до 22,0 мкм измеренная концентрация лития в среднем составила 6,0 ат. %.
- присутствие на поверхности свежезакаленных и отожженных образцов оксида Li_2O_2 .
- установлен эффект упрочнения фольг сплава при отжиге с температурой 400°С;
- H_μ достигает 1,2 ГПа, что на 33% выше микротвердости исходной фольги;
- обнаруженное упрочнение объясняется выделением Li-содержащих метастабильных фаз S_1 (Al_2LiMg) и X ($\text{Al}(\text{Mg}, \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Li})_x$).

Выводы

Показано, что применение метода МЯР позволяет установить с помощью ядерной реакции $^7\text{Li}(p, \alpha)^4\text{He}$ характер распределения лития по глубине в поверхностном слое толщиной до 22 мкм. Обнаружена диффузия лития к поверхности фольг при отжиге с температурой 380°С. Установлен рост микротвердости фольг за счет выделений упрочняющих фаз S_1 и X , содержащих литий, при изотермическом отжиге при температуре 400°С.

Полученные в данной работе результаты указывают на перспективность изучения физических процессов, протекающих при высокоскоростной кристаллизации в сплаве 1421, а также в процессе термической обработки БЗ образцов.