

УДК 546.621:669.716:539.533

Столяр И.А.¹, Ташлыкова-Бушкевич И.И.², Шихова У.А.², Олейник И.Д.²,
Шепелевич В.Г.¹

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Mg

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь

Аннотация. Представлены результаты рентгенодифракционных исследований фазового состава быстрозатвердевших фольг экспериментального сплава Al–Mg–Zr и промышленных сплавов Al–Mg–Cu–Mn–Fe (1191) и Al–Mg–Li–Zr–Sc (1421). Микротвердость образцов была определена методом Виккерса. Установлено формирование пересыщенного α -твердого раствора алюминия со структурой типа ГЦК. Обнаружено упрочнение фольг, микротвердость которых на 42% (сплав 1191) и 80% (сплав 1421) выше микротвердости соответствующих литых образцов.

Ключевые слова: высокоскоростная кристаллизация, сплавы Al–Mg, фазовый состав, микротвердость

Stoliar I.A.¹, Tashlykova-Bushkevich I.I.², Shikhova U.A.², Aleinik I.D.²,
Shepelevich V.G.¹

PHASE COMPOSITION AND MICROHARDNESS OF RAPIDLY SOLIDIFIED ALLOYS OF Al–Mg SYSTEM

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Belarus

Abstract. The results of X-ray diffraction studies of phase composition of rapidly solidified foils of experimental Al–Mg–Zr alloy and Al–Mg–Cu–Mn–Fe (1191) и Al–Mg–Li–Zr–Sc (1421) industrial alloys are presented. The microhardness of samples was determined by Vickers method. The formation of α -solid solution of aluminium with FCC structure was determined. The foils were found to be hardened with microhardness 42% (alloy 1191) and 80% (alloy 1421) higher than the microhardness of the corresponding cast specimens.

Keywords: rapid solidification processing, Al–Mg alloys, phase composition, microhardness.

Развитие в последнее время отраслей промышленного сектора предъявляет возрастающие требования к эксплуатационным характеристикам многокомпонентных сплавов на основе системы Al–Mg, характеризующихся высокой коррозионной стойкостью, умеренной прочностью и хорошей свариваемостью [1-3]. Поэтому для расширения номенклатуры изделий проводится поиск ресурсосберегающих технологий синтеза сплавов разных систем легирования. Несмотря на значительный прогресс, возможности модифицирования структурно-фазового состава и свойств Al–Mg–Li- и Al–Mg–Cu-сплавов за счет применения высокоскоростной кристаллизации на данный момент мало изучены.

В работе быстрозатвердевшие (БЗ) фольги экспериментального сплава Al–1,37% Mg–0,21% Zr (мас.%) и промышленных сплавов 1191 Al–2,76% Mg–3,52% Cu–0,77% Mn–0,3% Fe (мас.%) и 1421 Al–5,5% Mg–2,2% Li–0,12% Zr–0,2% Sc (мас.%) были получены методом центробежной закалки при скорости охлаждения расплава 10^6 К/с. Рентгенодифракционные исследования осуществлялись на дифрактометре Rigaku Ultima IV в Cu_α -излучении. Микротвердость H_μ фольг измерялась с помощью прибора MVD 402 Wolpert

Wilson Instruments для сплавов Al–Mg–Zr и 1191 (нагрузка в 50 г, время выдержки 30 с), а также прибора ПМТ-3 для сплава 1421 (нагрузка в 50 г, время выдержки 60 с). Погрешность измерения H_{μ} была 4 %.

Дифрактограммы БЗ фольг сплавов Al–Mg–Zr, Al–Mg–Cu–Mn–Fe и Al–Mg–Li–Sc–Zr представлены на рисунке 1а, б и в. Угловые положения рефлексов Al и интерметаллидных фаз, находящихся в суперпозиции с линиями Al, обозначены звездочкой (*).

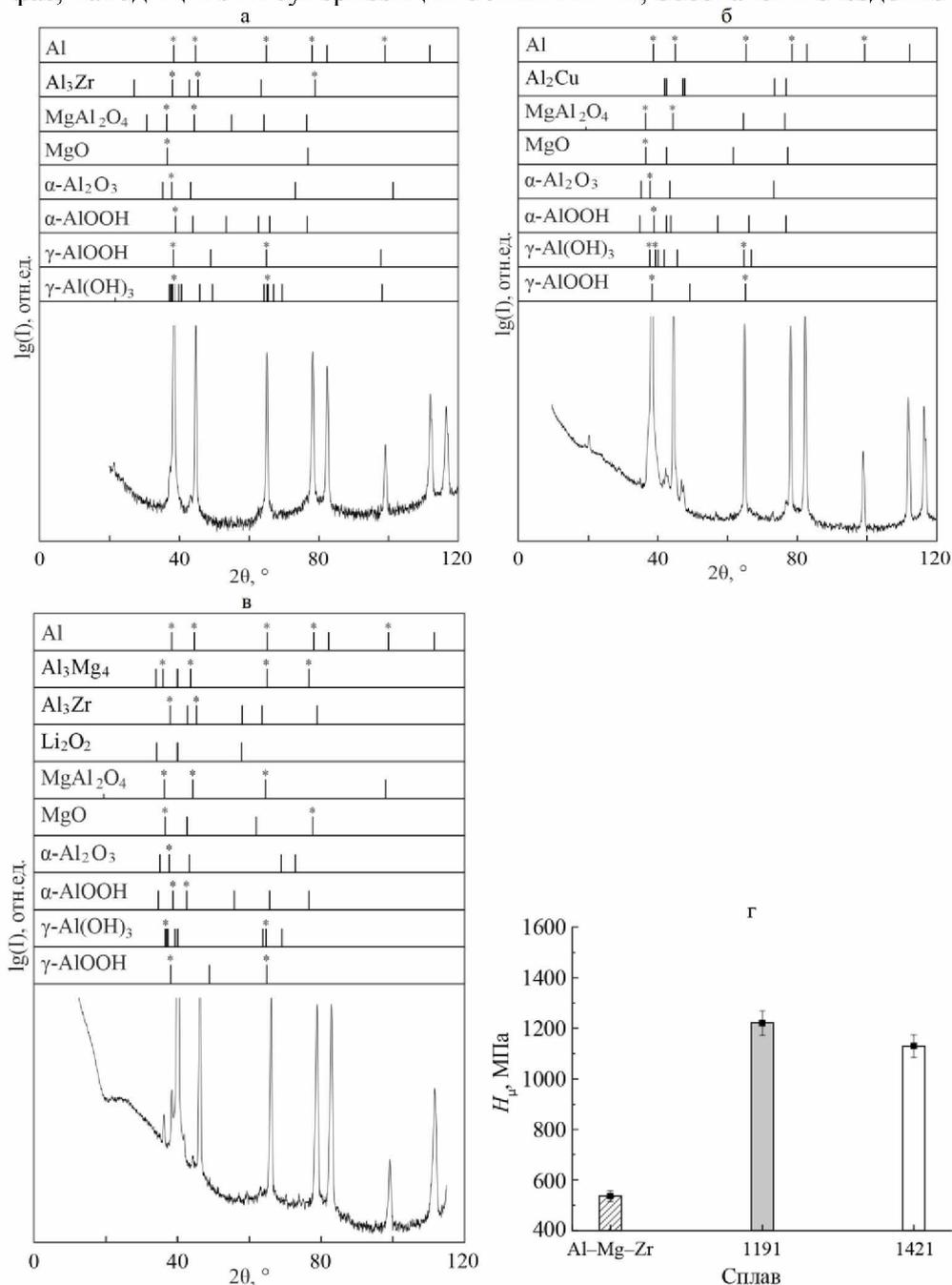


Рис. 1. Дифрактограммы и микротвердость фольг сплавов системы Al–Mg: а – сплав Al–Mg–Zr; б – сплав Al–Mg–Cu–Mn–Fe (1191); в – Al–Mg–Li–Sc–Zr (1421); г – значения микротвердости фольг как функция состава сплавов

Установленное смещение рефлексов Al по сравнению с табличными значениями при изменении составов сплавов указывает на формирование пересыщенного α -твердого раствора алюминия со структурой типа ГЦК. Для экспериментального сплава Al–Mg–Zr

наблюдается незначительное смещение линий алюминия в сторону меньших углов, для сплава Al–Mg–Cu–Mn–Fe линии смещаются в сторону больших углов. Значительное смещение линий в сторону меньших углов обнаружено для фольг сплава Al–Mg–Li–Sc–Zr. При этом по результатам рентгеноструктурных исследований получено, что пересыщенному α -твердому раствору на основе алюминия принадлежат наиболее интенсивные дифракционные пики на дифрактограммах.

Обнаружено, что структурно-фазовые превращения при затвердевании сплавов системы Al–Mg в условиях сверхбыстрого охлаждения приводят к улучшению механических свойств материалов. Как показали результаты измерения микротвердости на рисунке 1г, промышленные сплавы характеризуются высоким уровнем микротвердости – в среднем около 1180 МПа, что в 2,2 раз больше, чем в случае экспериментального сплава Al–Mg–Zr (535 МПа). Определенное упрочнение фольг, микротвердость которых на 42% (сплав 1191) и 80% (сплав 1421) выше микротвердости соответствующих литых образцов, объясняется действием твердорастворного механизма, а также зернограничного упрочнения и дисперсного упрочнения частицами вторых фаз при высокоскоростном затвердевании.

Таким образом, научное и прикладное значение синтезирования в настоящей работе в условиях высокоскоростной кристаллизации многокомпонентных промышленных сплавов системы Al–Mg определяется использованием в них редкоземельного металла – Sc – и переходных металлов – Cu, Zr, Mn и Fe – в качестве дополнительных легирующих элементов для повышения прочностных и коррозионных свойств. В частности, повышенный уровень прочности выбранного для исследования сплава Al–Mg–Li–Zr–Sc (промышленный сплав 1421), не имеющего аналогов зарубежом, в основном определяется содержанием Li, Mg и Sc. Как известно, проблемой применения традиционного литья является факт, что частицы первичных фазы, образующихся в отлитых Al–Mg-сплавах, имеют сравнительно крупный размер и оказывают негативное влияние на прочность и вязкость сплавов [4]. Полученные результаты указывают на перспективность изучения закономерностей структурно-фазовых превращений в процессе отжига БЗ фольг сплавов системы Al–Mg с целью определения оптимальных режимов упрочняющей термообработки, что представляет как фундаментальный, так и практический интерес для эффективного решения серьезных технологических проблем отрицательного влияния температурных воздействий на свойства материалов в агрессивных средах.

Список использованных источников

1. Rezaei, M. The effect of friction stir-back extrusion speed on Al–Cu–Mg–Li alloy microstructure and corrosion behaviour / M. Rezaei, A. H. Jamshidi // *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 2024. – Vol. 63. – №. 4. – P. 1225–1241.
2. Yang, X. Simultaneous improvement of strength, ductility and damping capacity of single beta- phase Mg–Li–Al–Zn alloys / X. Yang, Y. Jin, R. Wu [et al.] // *Metals*. – 2023. – Vol. 13. – P. 159-1–159-13.
3. Wang, Y. Effects of Sc and Zr on microstructure and properties of 1420 aluminum alloy / Y. Wang, H. Liu, X. Ma [et al.] // *Mater. Charact.* – 2019. – Vol. 154. – P. 241–247.
4. Wang, Y. Coarsening kinetics and strengthening mechanisms of core-shell nanoscale precipitates in Al–Li–Yb–Er–Sc–Zr alloy / Y. Wang, S. Zhang, R. Wu [et al.] // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2021. – Vol. 61. – P. 197–203.