

ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МАКРОТЕКСТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА Mg-1%Zn-0,2%Ca

И. А. Евдокимова¹, О. Б. Кулясова²

¹irisha115@icloud.com, ²elokbox@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В данной работе было исследовано влияние интенсивной пластической деформации (ИПД) методом равноканального углового прессования (РКУП) на микроструктуру, макротекстуру и механические свойства магниевого сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca. Было установлено, что после 4 проходов РКУП формируется кристаллографическая текстура, соответствующая простому сдвигу; размер зерен уменьшился до 2,7 мкм, что обеспечило высокие значения механических характеристик (микротвердость – 45,5 HV, предел прочности – 223,0 МПа, относительное удлинение – 14,7%).

Ключевые слова: магниевый сплав; интенсивная пластическая деформация; микроструктура; макротекстура; механические свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Магниево-цинковые сплавы представляют большой интерес для применения в медицине в качестве имплантов, так как магний является биорастворимым материалом в организме человека и имеет модуль упругости приближенный к модулю упругости кости. Кроме того, магний присутствует в больших количествах в организме человека и участвует во многих метаболических реакциях и биологических механизмов. Благодаря способности магния к растворению, исчезает необходимость в повторной операции по удалению имплантата. Тем не менее, у магния есть недостатки, такие как недостаточная прочность при использовании, быстрая коррозия, которая понижает ресурс изделия [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала для исследования был выбран магниевый сплав Mg-1%Zn-0,2%Ca после отжига при $T = 430^\circ\text{C}$ в течение 24 часов с последующей закалкой. Образцы диаметром 20 мм и длиной 100 мм

были подвергнуты РКУП по маршруту Вс с углом сопряжения каналов 120° . Были получены образцы с разным количеством проходов: 1 проход при $T = 400^\circ\text{C}$; 2 прохода при $T = 400^\circ\text{C}$; 4 прохода: первые два прохода при $T = 400^\circ\text{C}$, затем ещё два прохода при $T = 350^\circ\text{C}$. Исследования структуры проводили на оптическом микроскопе Olympus GX51. Измерения текстуры проводили с помощью дифрактометра DRON-3m, оснащенного автоматическим текстурным устройством. Диаметр измеряемой области составлял $\sim 0,6$ мм. Неполные полюсные фигуры были измерены с использованием отфильтрованного рентгеновского излучения $\text{Cu K}\alpha$ (0,1540598 нм). Функция распределения ориентировок (ФРО) была рассчитана с помощью программного обеспечения LaboTEX. Испытания на растяжение выполняли на испытательной машине Instron 5982 при комнатной температуре и скорости деформации 10^{-3}c^{-1} . Механические испытания проводили малых образцов с размером рабочей части $0,6 \times 1 \times 4$ мм³. Для каждого состояния было испытано минимум 5 образцов.

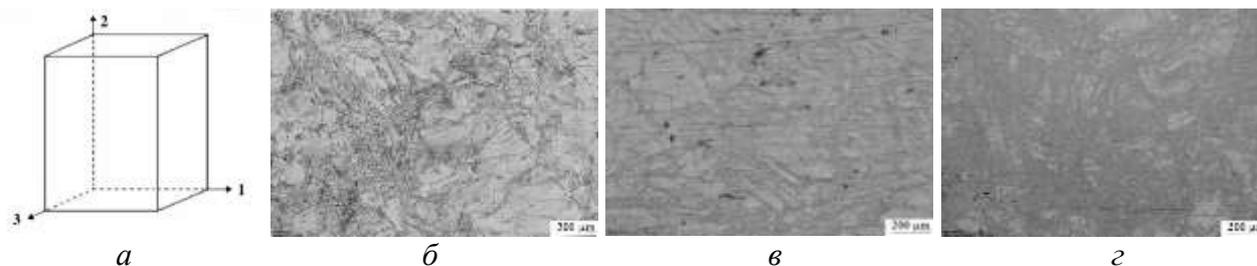


Рис. 1. *а* – Схема направлений образца. Микроструктура сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca в сечении 1–3: *б* – 1 проход РКУП; *в* – 2 прохода РКУП; *г* – 4 прохода РКУП

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исходном состоянии микроструктура исследуемого сплава в сечении 1-3 состоит из равноосных зерен α -Mg со средним размером 280 мкм. Исследование было проведено в плоскости 1-3 (см. систему координат образца на Рис. 1, *а*). В результате 1 прохода при РКУП сформирована неодородная структура (рис. 1, *б*). Примерно 50% занимали крупные зерна с размером 272 мкм, остальная площадь была занята мелкими зёрнами со средним размером 4,6 мкм. Структура после 2 проходов РКУП более проработана, однако также неоднородна (рис. 1, *в*). Крупными зёрнами с размером до 256 мкм занято 43%. Средний размер мелких зёрен составил 4,4 мкм. Наиболее однородную структуру наблюдали после 4 проходов РКУП (рис. 1, *г*). Доля крупных зёрен с размером около 80 мкм составила 13%, размер мелких зерен составил 2,7 мкм. Сопоставляя полученные данные с параметрами зёренной структуры в сечении 1-2, опубликованными в работе [2], можно утверждать, что структура аналогична во всех сечениях РКУП образца.

Результаты текстурных исследований представлены в табл. 1, анализ ФРО проводили в терминах идеальных ориентаций простого сдвига для ГПУ материалов. Экспериментальные полюсные фигуры и ФРО в целом соответствуют текстуре простого сдвига, характерной для магниевых сплавов, полученных РКУП с учётом ориентации плоскости сдвига [3]. Однако распределение полюсной плотности не в полной мере описывается идеальными ориентациями простого сдвига, что можно объяснить микроструктурой, которая после ИПД наряду с сильно измельченными

участками содержит крупные зерна, наличие которых обеспечивает размытие текстуры простого сдвига.

Таблица 1

Эволюция текстуры в процессе РКУП

Состояние	ФРО	Полюсные фигуры
Исходное (гомоген)		
РКУП 1 проход		
РКУП 2 прохода		
РКУП 4 прохода		

Микротвердость исследуемого сплава возрастает с увеличением числа проходов РКУП вследствие измельчения зерна, а именно: в исходном состоянии составляет $35,5 \pm 3,5$, после 1 прохода $40,0 \pm 2,2$, после 2 проходов $42,0 \pm 1,5$ и после 4 проходов $45,5 \pm 0,7$.

С увеличением количества проходов и, следовательно, с увеличением степени деформации прочностные характеристики повышаются. Увеличение прочности происходит вследствие измельчения зёренной структуры, а также, вероятно, за счет увеличения плотности дислокаций в процессе РКУП. Наибольшее значение прочности было достигнуто в состоянии после 4 проходов РКУП, где наблюдали микроструктуру с максимальной долей измельчённых зёрен. Предел прочности составил 223 МПа, что практически в два раза выше по сравнению с исходным состоянием (рис. 2). Тенденция увеличения прочност-

ных характеристик после РКУП в направлении 1-3 соответствует, обнаруженной ранее для направления 1-2 [4]. В то же время, наблюдается различие прочностных свойств образцов, вырезанных в разных плоскостях, что согласуется с наличием кристаллографической текстуры.

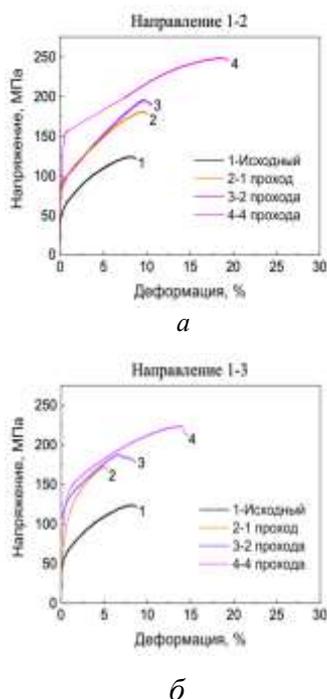


Рис. 2. Испытание на растяжение после обработки РКУП в направлении: а – 1-2; б – 1-3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты микроструктуры, макротекстуры и механических свойств магниевого сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca.

Увеличение микротвердости и прочности, происходящее во время РКУП, можно объяснить измельчением зерна и высокой плотностью дислокаций.

Наиболее мелкозернистая однородная структура, сформированная при 4 проходах РКУП, обеспечивает высокие значения механических характеристики $H_V = 45,5$, $\sigma_{0,2} = 144,5$ МПа, $\sigma_B = 223,0$ МПа и $\delta = 14,7\%$.

Анизотропия механических свойств в УМЗ магниевого сплава, полученным при РКУП, не носит выраженного характера, что согласуется с параметрами кристаллографической текстуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Song G., Song S. A possible biodegradable magnesium implant material, *Adv. Eng. Mater.*, no. 9(4), pp. 298–302, 2017.
2. Евдокимова И. А., Кулясова О. Б., Еникеев Н. А. Эволюция микроструктуры и макротекстуры магниевого сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca при равноканальном угловом прессовании. // Мавлютовские чтения: материалы XII Всероссийской молодежной научной конференции УГАТУ. 2019. Т. 2, С. 36-40. [И. А. Evdokimova, О. В. Kulyasova, N. A. Enikeev, "Evolution of the microstructure and macrotexture of magnesium alloy of Mg-1% Zn-0.2% Ca by equal channel angular pressing," (in Russian), in *The XII All-Russian Youth Scientific Readings named after Mavlyutov USATU*, vol. 2, pp. 36-40, 2019.]
3. S. Biswas, D. Satyaveer Singh, B. Beausir, L.S. Toth, S. Suwas. Thermal Response on the Microstructure and Texture of ECAP and Cold-Rolled Pure Magnesium, *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 46, pp. 2598–2613, 2015.
4. Kulyasova O. B., Evdokimova I. A., Islamgaliev R. K. Evolution of the structure and mechanical properties of the Mg-1%Zn-0.2%Ca alloy during ECAP deformation [Электронный ресурс]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/672/1/012035> (дата обращения 25-27.09.2019). [О. В. Kulyasova, I. A. Evdokimova, R. K. Islamgaliev (2019, Sept. 25-27) Evolution of the structure and mechanical properties of the Mg-1%Zn-0.2%Ca alloy during ECAP deformation [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/672/1/012035>]

ОБ АВТОРАХ

ЕВДОКИМОВА Ирина Александровна, студент 4-го курса ИАТМ, кафедра МиФМ. Исследования в области структуры, текстуры и свойств магниевого сплава Mg-1%Zn-0,2%Ca, подвергнутого ИПД методом РКУП.

КУЛЯСОВА Ольга Борисовна, старший научный сотрудник НИИ ФПМ УГАТУ. Канд. техн. наук. Исследования в области структуры и свойств магниевых сплавов, подвергнутых ИПД.

METADATA

Title: Effect of equal channel angular press by microstructure, macrotexture and mechanical properties of magnesium alloy MG-1%ZN-0,2%CA

Authors: I. A. Evdokimova ¹, O. B. Kulyasova ²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

Email: ¹Irisha115@icloud.com, ²elokbox@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 61-64, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: Microstructure of the Mg-1%Zn-0.2%Ca magnesium alloy after equal-channel angular pressing (ECAP) has been investigated. It was shown that an increase of the shear strain leads to significant grain refinement, as well as to the improved uniformity of microhardness. As a result of grain refinement by ECAP

processing, the microhardness was increased to a value of 45.5. Tensile tests demonstrated the enhanced ultimate tensile strength of 223.0 MPa, yield stress of 144.5 MPa, ductility of 14.7 % whereas in the initial coarse-grained state these parameters were 124,0 MPa, 35.3 MPa and 8.7 %, accordingly.

Key words: magnesium alloy, intense plastic deformation, microstructure, macro-texture, mechanical properties.

About authors:

EVDOKIMOVA, Irina Alexandrovna, 4th year student department of M&PhM (IATM). Studies of the structure, texture and mechanical properties of magnesium alloy Mg-1% Zn-0.2% Ca, processed by SPD.

KULYASOVA, Olga Borisovna, Senior researcher. Area of expertise is ultrafine-grained microstructure and mechanical properties of magnesium alloys processed by severe plastic deformation.