

Научная статья

УДК 669.71

Влияние Er и Y на структуру и свойства сплава Al–Zn–Mg–Cu–Zr с повышенным содержанием меди

**Мария Владимировна Главатских¹, Руслан Юрьевич Барков²,
Максим Геннадьевич Хомутов³, Андрей Владимирович Поздняков⁴**

^{1,2,3,4} Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

¹ mariaglavatskih@yandex.ru

Аннотация. Исследовано влияние иттрия и эрбия на фазовый состав и свойства сплава Al–Zn–Mg–Cu–Zr. Формирование дисп्रेसоидов с иттрием и эрбием при гомогенизации обеспечивает большой прирост твердости и устойчивость сплава к перестариванию.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, редкоземельные металлы, фазовый состав, твердость, микроструктура

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-79-00305).

Original article

Effect of Er and Y on Structure and Properties of the Al–Zn–Mg–Cu–Zr Alloy with High Cu Content

**Maria V. Glavatskikh¹, Ruslan Yu. Barkov², Maxim G. Khomutov³,
Andrey V. Pozdniakov⁴**

^{1,2,3,4} National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia

⁴ pozdniakov@misis.ru

Abstract. The effect of yttrium and erbium on phase composition and properties of the Al–Zn–Mg–Cu–Zr alloy was investigated. Formation of the fine dispersoids with yttrium and erbium at homogenization treatment provides a higher hardness increasing and stability during over aging.

Keywords: aluminum alloys, rare earth metals, phase composition, hardness, microstructure

Funding. The work was carried out with the financial support of the Russian science foundation (project No. 20-79-00305).

Наилучшего сочетания механических, коррозионных и технологических свойств в сплавах системы Al–Zn–Mg можно добиться при соотношении Zn/Mg примерно равном 1 (или меньшем) [1–3]. Повышения прочностных характеристик можно достичь за счет легирования редкоземельными и переходными металлами, часть которых, являясь эффективными модификаторами зеренной структуры, повышают и технологичность при литье. Цирконий является весьма эффективным антирекристаллизатором в алюминии за счет выделений дисперсоидов фазы Al_3Zr . Er и Y повышают плотность распределения дисперсоидов и эффект упрочнения при отжиге [4; 5]. Данная работа посвящена определению влияния легирования эрбием или иттрием. Сплав системы Al–Zn–Mg–Cu с повышенным содержанием циркония.

Выбор составов осуществлен по следующим критериям: первый — соотношение Zn/Mg примерно равно 1 при максимальном суммарном содержании 9 %; второй — избыток меди (до 2,5 %) введен в сплав для образования при кристаллизации фаз Al_8Cu_4Er и Al_8Cu_4Y , имеющих высокую термическую стабильность.

Согласно исследованию, в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) в литой структуре базового сплава AlZnMgCuZr, помимо алюминиевого твердого раствора (Al), присутствует только одна интерметаллидная фаза, которая, согласно литературным данным, соответствует фазе T (AlZnMgCu). Цирконий однородно распределен в Al и не образует интерметаллидов при кристаллизации (рис. 1, а). При введении иттрия в количестве 0,6 % в слитке сплава отмечено наличие двух дополнительных фаз: одна обогащена медью и иттрием (частицы фазы выделены кругом на рис. 1, б) — Al_8Cu_4Y , вторая — магнием и иттрием (частицы фазы выделены овалом на рис. 1, б). При введении 1 % Er отмечено наличие трех дополнительных интерметаллидов: два

состава близкого к фазе $\text{Al}_8\text{Cu}_4\text{Er}$ (выделения овалом и прямоугольником на рис. 1, *в*) и один состава Al_3Er . В одной из частиц фазы $\text{Al}_8\text{Cu}_4\text{Er}$ отмечено наличие примерно около 2% Fe (частица выделена овалом на рис. 1, *в*). Во всех сплавах цирконий полностью вошел в Al при кристаллизации, а содержание Y и Er составило примерно 0,15–0,2%.

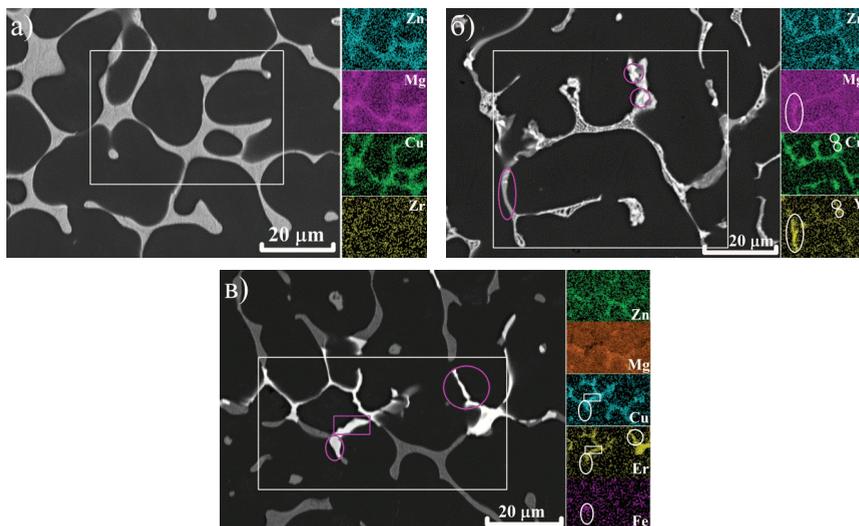


Рис. 1. Микроструктура слитков сплавов:

a – AlZnMgCuZr; *б* – AlZnMgCuZrY; *в* – AlZnMgCuZrEr (СЭМ)

Согласно результатам калориметрического анализа, температура солидуса сплавов находится в интервале 477–480 °С. В процессе гомогенизации перед закалкой с 465 °С происходит растворение неравновесного избытка фазы Т и сопутствующее насыщение цинком, магнием и медью (Al). Микроструктура после трехчасовой гомогенизации перед закалкой представлена на рис. 2.

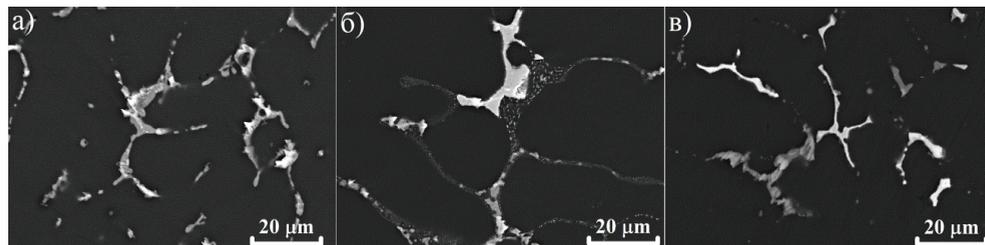


Рис. 2. Микроструктура сплавов после закалки с 465 °С с выдержкой 3 ч (СЭМ):

a – AlZnMgCuZr; *б* – AlZnMgCuZrY; *в* – AlZnMgCuZrEr

После трех часов выдержки структура практически не изменяется и содержание элементов в твердом растворе стабилизируется. Параллельно в сплавах должна проходить гетерогенизация с выделением $L1_2$ дисперсоидов фаз Al_3 (Zr), Al_3 (Zr, Y) и Al_3 (Zr, Er).

После закалки с $465\text{ }^\circ\text{C}$ с трехчасовой выдержкой твердость сплавов $AlZnMgCuZr$, $AlZnMgCuZrY$ и $AlZnMgCuZrEr$ составила 98 HV, 91 HV и 88 HV соответственно (рис. 3).

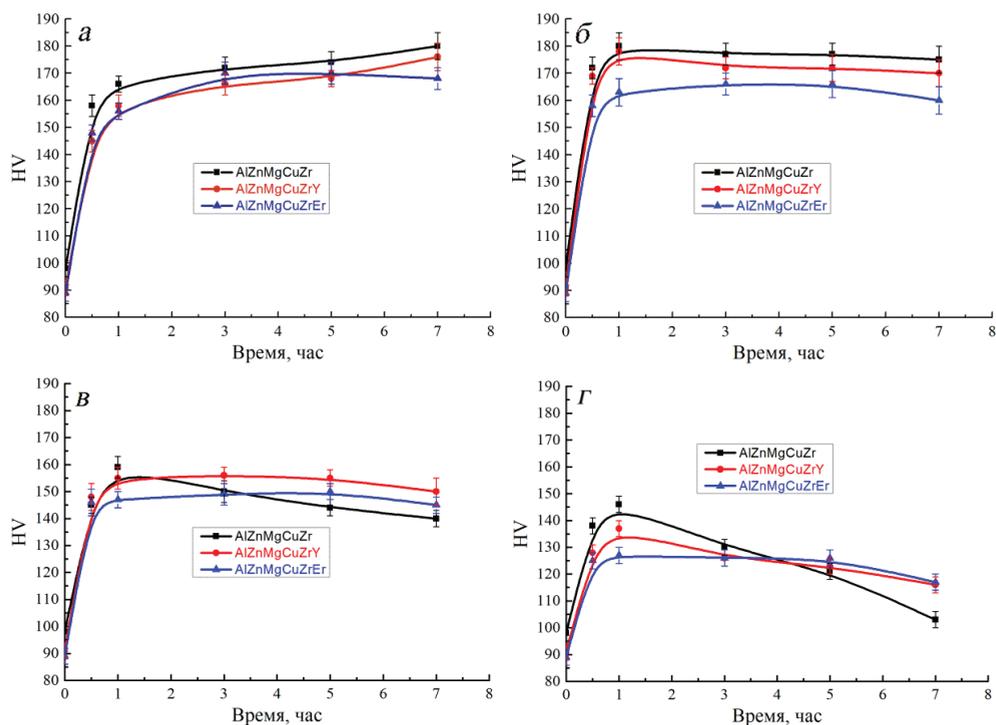


Рис. 3. Зависимости твердости HV от времени старения:

a — при $150\text{ }^\circ\text{C}$; *б* — $180\text{ }^\circ\text{C}$; *в* — $210\text{ }^\circ\text{C}$; *Г* — $250\text{ }^\circ\text{C}$

Последующее старение при температуре $150\text{ }^\circ\text{C}$ показывает больший прирост твердости в сплаве с эрбием при примерно одинаковом уровне твердости во всех сплавах. Достижение пика твердости после старения при $180\text{ }^\circ\text{C}$ сокращается до 1–3 ч, при этом сплав с эрбием начинает уступать в величине упрочнения. Перестаривание при 210 и $250\text{ }^\circ\text{C}$ протекает существенно быстрее в сплаве без добавок иттрия и эрбия, при примерно одинаковом уровне упрочнения. С учетом, что кинетику старения определяет в основном состав Al, а во всех

сплавах по основным элементам (цинку, магнию и меди) он одинаков, то различия в кинетике определяют дисперсоиды, образованные при гомогенизации перед закалкой.

Список источников

1. Золоторевский В. С. Микростроение и механические свойства литых алюминиевых сплавов : дисс. д-р техн. наук. М. : МИСиС, 1978. 430 с.
2. Изменение структуры и свойств сплавов системы Al–Zn–Mg / Н. С. Герчикова [и др.] // МиТОМ. 1972. №. 3. С. 47–50.
3. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. М. : Наука, 1966. 299 с.
4. Synergetic Effect of Er and Zr on the Precipitation Hardening of Al–Er–Zr Alloy / S. P. Wen [et al.] // Scripta Materialia. 2011. Vol. 65 (7). P. 592–595.
5. Structural and Compositional Evolution of Al₃ (Zr, Y) Precipitates in Al–Zr–Y Alloy / H. Gao [et al.] // Materials Characterization. 2016. Vol. 121. P. 195–198.

References

1. Zolotarevskiy V. S. Microstructure and mechanical properties of cast aluminum alloys : diss. dr. techn. sc. M. : MISiS, 1978. 430 p.
2. Changes in the Structure and Properties of Alloys of the Al–Zn–Mg System / N. S. Gerchikova [et al.] // MiTOM. 1972. No. 3. P. 47–50.
3. Novikov I. I. Hot Tearing of Non-Ferrous Metals and Alloys. M. : Nauka, 1966. 299 p.
4. Synergetic Effect of Er and Zr on the Precipitation Hardening of Al–Er–Zr Alloy / S. P. Wen [et al.] // Scripta Materialia. 2011. Vol. 65 (7). P. 592–595.
5. Structural and Compositional Evolution of Al₃ (Zr, Y) Precipitates in Al–Zr–Y Alloy / H. Gao [et al.] // Materials Characterization. 2016. Vol. 121. P. 195–198.