

Р. Ю. Барков*, А. В. Поздняков

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

*barkov@misis.ru

ВЛИЯНИЕ Y НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Al-Mg-Mn-Zr-Sc-Y

Исследовано влияние Y на микроструктуру и механические свойства сплава Al-Mg-Mn-Zr-Sc. Размер зерна сплава Al-Mg-Mn-Zr-Sc-Y составлял 45 мкм. Al_3Mg_2 , Al_3Y и тройные фазы AlMgY были сформированы в условиях отливки. После прокатки был получен высокотвердый эффект в 64HV. Оптимальное сочетание прочности и пластичности было достигнуто после отжига при 150 °C: $\sigma_{0,2} = 365$ МПа, $\sigma_b = 423$ МПа и $\delta = 8,3$ %.

Ключевые слова: металлы и сплавы, микроструктура, рентгеновские методы, механические свойства.

R. Yu. Barkov, A. V. Pozdniakov

EFFECT OF Y ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Mg-Mn-Zr-Sc-Y ALLOY

The influence of Y on the microstructure and mechanical properties of the Al-Mg-Mn-Zr-Sc alloy is investigated. The grain size of the Al-Mg-Mn-Zr-Sc-Y alloy was 45 μ m. Al_3Mg_2 , Al_3Y and ternary AlMgY phases were formed in the as cast condition. High hardening effect in 64HV was obtained after rolling. The optimal combination of strength and plasticity was achieved after annealing at 150 °C: $YS = 365$ MPa, $UTS = 423$ MPa and $El. = 8.3$ %.

Key words: metals and alloys, microstructure, x-ray techniques, mechanical properties.

Скандий и цирконий обычно используются для улучшения механических свойств сплавов Al-Mg [1]. Новый сплав 1545K (Al-4,7Mg-0,32Mn-0,21Sc-0,09Zr) является очень перспективным материалом для аэрокосмической промышленности [2, 3]. Исследования Золоторевского и др. [2] продемонстрировали, что предел текучести ($\sigma_{0,2}$) сплава 1545K может быть улучшен с 260–270 до 365–380 МПа за счет увеличения доли деформации при комнатной температуре. Однако скандий является наиболее дорогим легирующим элементом в алюми-

ниевых сплавах. В последние годы проявился большой интерес к исследованию влияния малых добавок Er, Gd, Y и Hf на структуру алюминия и его сплавов [4]. Y в сплаве Al–Zr приводит к формированию дисперсоидов $Al_3(ZrY)$ размеров 17–37 нм, тогда как размер выделений Al_3Zr составляет 36–54 нм [5]. Влияние добавок иттрия на микроструктуру и свойства Al–Mg-сплава достаточно слабо исследовано. Например, авторы [6] исследовали квази-сверхпластичность сплава Al–1,44Mg–1,09Y. Furong Cao [6] продемонстрировал образование $Al_{12}Mg_{17}$, Al_3Y , MgY и Al_2Y в сплаве Al–1,44Mg–1,09Y в отожженном состоянии [6]. Y приводит к уменьшению длины и объемной доли b–Fe и очистке дендритов первичного алюминия [7].

Объектом исследования был сплав Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,1Zr–0,2Y, который получен в печи сопротивления с применением чистых Al (99,85), Mg (99,90) и лигатур Al–10Mn, Al–3,5Zr, Al–2,5Sc и Al–2,1Y. Прокатку слитков проводили на лабораторном стане при 370 °C с 20 до 10 мм и при комнатной температуре с 10 до 1 мм. Микроструктуру и фазовый состав исследовали с помощью светового микроскопа Neophot-30, сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3LMH и рентгеновского дифрактометра Bruker D8 Advance. Термическую обработку слитков и листов проводили в печи Nabertherm. Твердость измеряли с использованием оборудования для твердости по Виккерсу с нагрузкой 5 кг. Испытания на растяжение проводились с использованием испытательной машины Zwick/Roell Z250 Allround.

Испытание на межкристаллитную коррозию проводили на образцах на растяжение, обработанных в водном растворе 3% NaCl + 1% HCl в течение 24 ч [8].

На рис 1, а показана зеренная структура Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y. Средний размер зерна составляет 45 ± 5 мкм. Добавка Y привела к образованию эвтектических фаз (светлые частицы на рис 1, а). Как было показано в [6], Y привел к образованию Al_3Y , MgY и Al_2Y в сплаве Al–1,44Mg–1,09Y. Анализ распределения химических элементов (рис. 1, в) показал, что светлые фазы на микроструктуре состояли из твердого Al, Mg и Y. Al, Al_3Mg_2 , Al_3Y и тройная фаза AlMgY были идентифицированы с помощью рентгенодифракционного анализа (рис. 2). Концентрация Y в твердом растворе алюминия составляет 0,15 мас. %, что было продемонстрировано методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

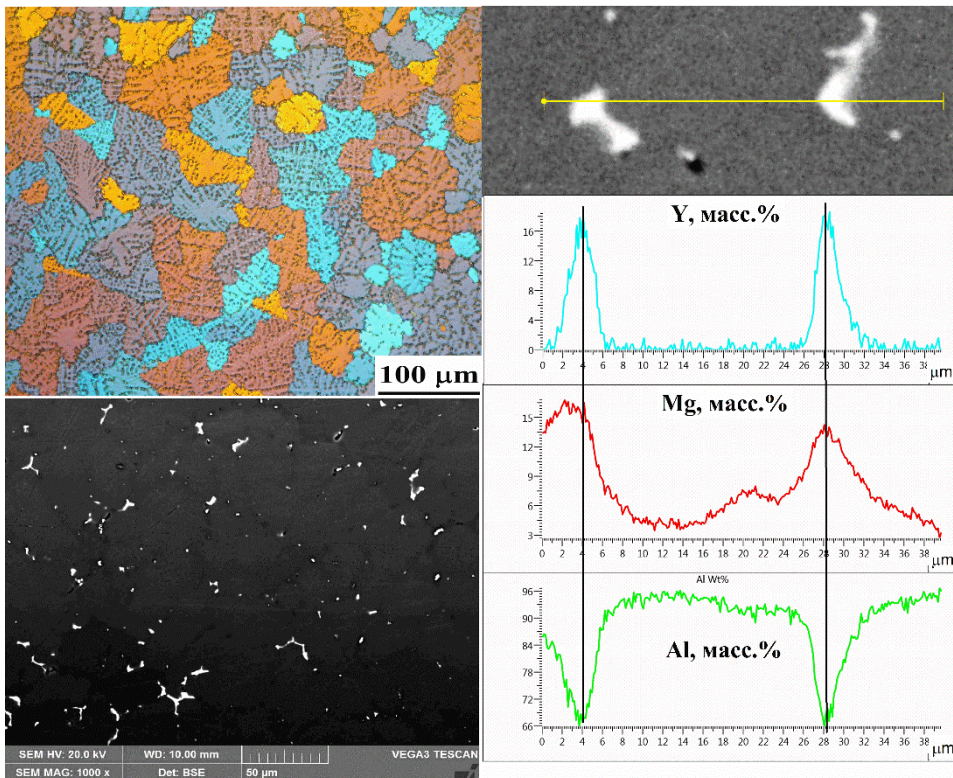
*a**б*

Рис. 1. Микроструктура сплава Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y в литом состоянии:

a — структура (СМ и СЭМ), *б* — распределение химических элементов

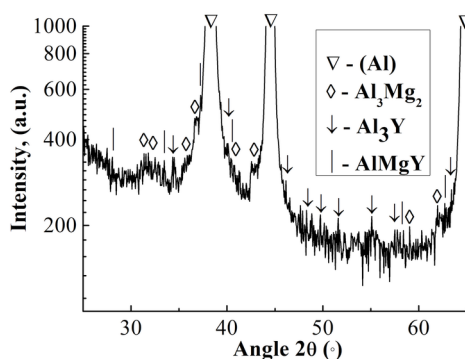


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма сплава Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y

В деформированном состоянии сплав Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y имел $\sigma_{0,2} = 422$ МПа, $\sigma_b = 447$ МПа и $\delta = 5,4\%$ (табл. 1). $\sigma_{0,2}$ и σ_b уменьшались до 330 и 389 МПа при отжиге 200 °С. Отжиг при

150 °С показал оптимальное сочетание прочности и пластичности: $\sigma_{0,2} = 365$ МПа, $\sigma_b = 423$ МПа и $\delta = 8,3\%$ (табл. 1). После проведения испытаний на межкристаллитную коррозию отожженных образцов при 150 °С в течение 1 ч предел текучести сплава Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y уменьшался несильно, $\sigma_{0,2} = 356$ МПа (на 9 МПа) и $\delta = 5,6\%$ (на 2,6%).

Таблица 1

**Свойства сплава Al–4,5Mg–0,5Mn–0,05Sc–0,15Zr–0,2Y
в различных состояниях**

Состояние	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
Деформированное	422	447	5,4
Отжиг 100 °С 1 ч	390	434	6,6
Отжиг 100 °С 3 ч	385	430	6,8
Отжиг 150 °С 1 ч	365	420	8,2
Отжиг 150 °С 3 ч	365	423	8,3
Отжиг 200 °С 0,5 ч	330	389	9,2
Отжиг 150 °С 1 ч и коррозионные испытания	356	395	5,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Vladivoj O., Margarita S. Resistance to recrystallization due to Sc and Zr addition to Al–Mg alloys // Mater. Charact. 2001. 47. P. 157–162.
2. Evolution of structure and mechanical properties of Al–4.7Mg–0.32Mn–0.21Sc–0.09Zr alloy sheets after accumulated deformation during rolling / V. S. Zolotarevskiy [et al.] // The Phys. of Met. and Metall. 2016. 117 (11). P. 1163–1169.
3. Strength and substructure of the Al–4.7Mg–0.32Mn–0.21Sc–0.09Zr alloy sheets / V. S. Zolotarevskiy [et al.] // The Phys. of Met. and Metall. 2017. 118 (2). P. 407–414.
4. Microstructure and mechanical properties of novel Al–Mg–Mn–Zr–Sc–Er alloy / A. V. Pozdniakov [et al.] // Mater. Let. 2017. 202. P. 116–119.
5. Effects of Y additions on the precipitation and recrystallization of Al–Zr alloys / Yongzhi Zhang [et al.] // Mater. Charact. 2013. 86. P. 1–8.
6. Quasi-superplasticity of a banded-grained Al–Mg–Y alloy processed by continuous casting-extrusion / Furong Cao [et al.] // Mater. Sci. and Eng. 2017. A A 690. P. 433–445.
7. Effect of trace yttrium addition on the microstructure and tensile properties of recycled Al–7Si–0.3Mg–1.0Fe casting alloys / Bingbing Wan [et al.] // Mater. Sci. and Eng. 2016. A 666. P. 165–175.
8. ГОСТ 9.021–74. Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию. М., 2015.