

Научная статья

УДК 669.71

Микроструктура и механические свойства сплава Al–Y–Sc–Er

Леонид Евгеньевич Горлов¹, Руслан Юрьевич Барков²

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

¹ gorlov.lyonya@yandex.ru

Аннотация. Исследована микроструктура сплава алюминия с добавлением редкоземельных металлов: Y, Sc, Er, а также изменение механических свойств после деформации и термообработки. В процессе отжига деформированных листов отмечено повышение твердости с 52 до 66 HV.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, микроструктура, механические свойства, редкоземельные металлы, твердость, рекристаллизация

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (код проекта 0718-2020-0030). Авторы выражают благодарность научному руководителю — кандидату технических наук, доценту А. В. Позднякову.

Original article

Microstructure And Mechanical Properties Of Alloy Al–Y–Sc–Er

Leonid. E. Gorlov¹, Ruslan. Y. Barkov²

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

¹ gorlov.lyonya@yandex.ru

Abstract. The microstructure of a cast aluminum alloy with the addition of rare earth metals: Y, Sc, Er, as well as the microstructure and change in mechanical properties after deformation by rolling and heat treatment have been investigated. In the process of annealing the deformed sheets, the hardness increases from 52 to 66 HV.

Keywords: aluminum alloys, microstructure, mechanical properties, rare earth metals, hardness, recrystallization

Acknowledgments. The work was carried out with the support of the ministry of education and science of Russia within the framework of the state task (project code 0718-2020-0030). The authors express their gratitude to the scientific advisor — candidate of technical sciences, associate professor A. V. Pozdnyakov.

Актуальной темой остается изучение влияния малых добавок редкоземельных металлов на микроструктуру и механические свойства алюминия и его сплавов [1]. Малолегированные сплавы имеют повышенные свойства после отжига за счет образования дисперсных включений $L1_2$ фазы типа Al_3M ($M = Sc, Y, Er$) [2].

Исследуемый сплав $AlYScEr$ был выплавлен с помощью индукционной печи с использованием алюминия марки А99 и лигатур составов $Al - 10\%Y$, $Al - 10\%Yb$, $Al - 2\%Er$. Массовая доля компонентов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплава $AlYScEr$

Сплав	Массовая доля компонентов, %			
	Y	Sc	Er	Al
$AlYScEr$	0,2	0,2	0,3	Ост

Расплав нагревался до температуры $750^\circ C$ и затем разливался в водоохлаждаемую медную изложницу. Скорость охлаждения при кристаллизации составляла около $15 K/c$. Были получены слитки размером $20 \times 40 \times 100$ мм.

Микроструктура сплава $AlYScEr$ в литом состоянии представляет собой твердый раствор алюминия, и в структуре присутствует дисперсная эвтектика, в которой интерметаллидная фаза обогащена иттрием и эрбием. Скандий равномерно распределен в твердом растворе алюминия (рис. 1).

Повысить твердость литых слитков после отжига удалось с $29,5 HV$ до $61 HV$ при температуре $300^\circ C$ и выдержке 7 ч. Далее упрочнение не фиксируется. При температуре $270^\circ C$ твердость растет до $62 HV$ при выдержке 30 ч. При температуре $330^\circ C$ твердость достигает максимума в $57 HV$ и начинает снижаться после 7 ч отжига (рис. 2).

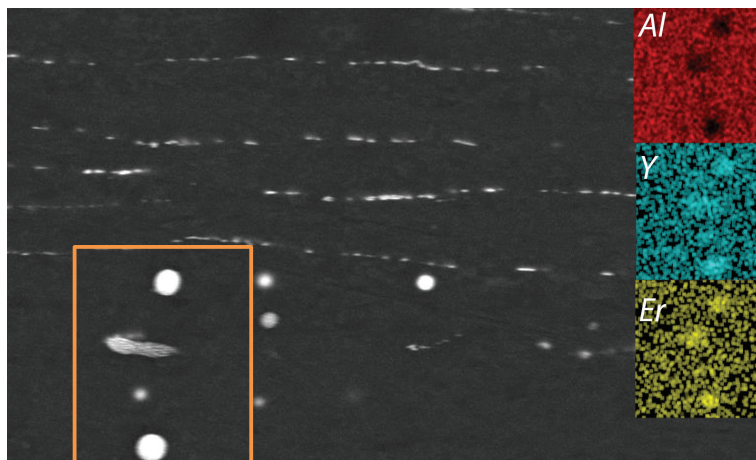


Рис. 1. Микроструктура и карты распределения (сканирующая микроскопия) литого образца

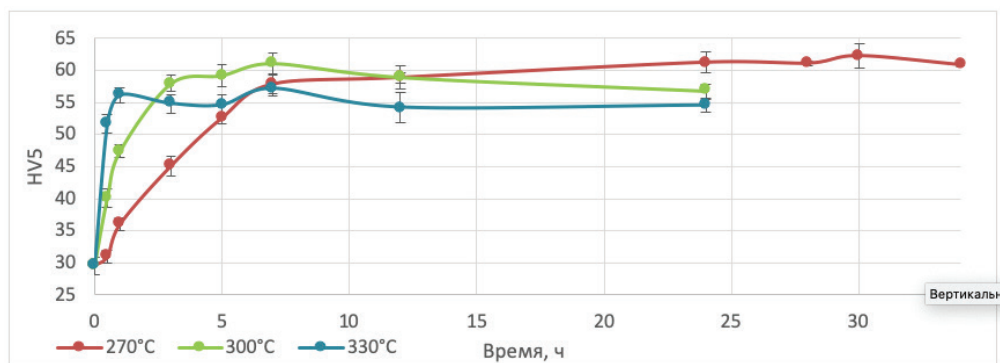


Рис. 2. График зависимости твердости HV от времени отжига и температуры

Деформация проводилась холодной прокаткой. Твердость после прокатки составила 52 HV. В процессе отжига деформированного образца твердость увеличилась с 52 до 66,5 HV при 300 °С за 3 ч и до 65,9 HV при 270 °С за 7 ч. Зависимость представлена на рис. 3.

Исследованные структуры отожженного образца при разных температурах в течение 1 ч представлены на рис. 4. Деформированная зеренная структура сохраняется до 450 °С. Полная рекристаллизация происходит после часового отжига при температуре 500 °С.

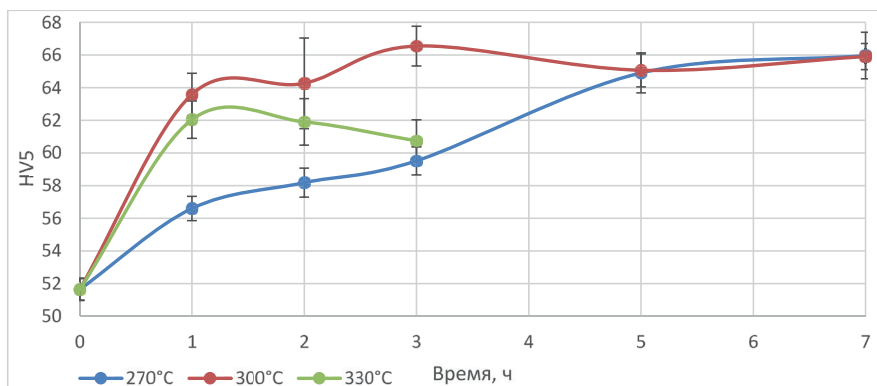


Рис. 3. График зависимости твердости HV от времени отжига при разных температурах

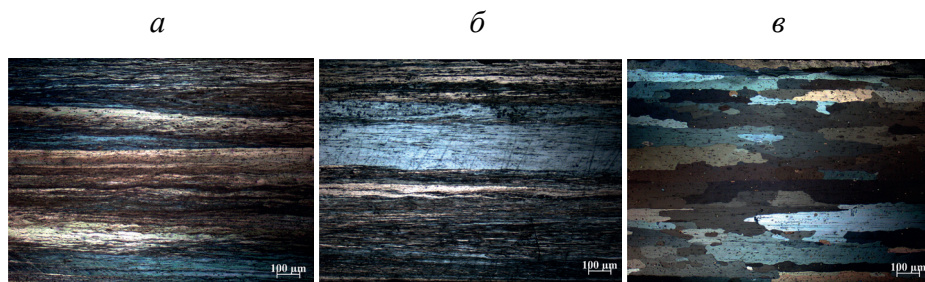


Рис. 4. Микроструктура образцов (световая микроскопия), отожженных в течение 1 ч:
а — 350 °C; б — 450 °C; в — 500 °C

В табл. 2 представлены результаты определения условного предела текучести, предела прочности, относительного удлинения, а также электропроводности образцов.

Таблица 2

Механические и физические свойства сплава

Состояние	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
Деформированное	$167,5 \pm 0,5$	$174,5 \pm 0,5$	$7,2 \pm 1$
300 °C, 1 ч	$186,5 \pm 2,5$	$198,5 \pm 2$	$7,75 \pm 1$
300 °C, 4 ч	$192,5 \pm 1,5$	$205,5 \pm 0,5$	$9,3 \pm 1$
300 °C, 7 ч	$190,5 \pm 0,5$	$205 \pm 0,5$	12 ± 1

В деформированном состоянии предел текучести составляет 167 МПа и увеличивается уже после 1 ч отжига при 300 °С. Максимум $\sigma_{0,2} = 192,5 \pm 1,5$ МПа и $\sigma_b = 205,5 \pm 0,5$ МПа при $\delta = 9,3 \pm 1$ % достигается после 4 ч отжига.

Список источников / References

1. Aging and recrystallization behavior of precipitation strengthened Al–0,25Zr–0,03Y alloy / H. Gao, W. Feng, J. Gu [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. 2017. Vol. 696. P. 1039–1045.
2. Effects of Yb and Zr microalloying additions on the microstructure and mechanical properties of dilute Al–Sc alloys / M. E. Van Dalen, T. G. David, C. Dunand [et al.] // Acta Materialia. 2011. Vol. 59. P. 7615–7626.