

Влияние введения скандия, циркония, титана на механические свойства  
чистого алюминия

Р.Р. Абдрахманова<sup>1</sup>, Д.В. Сыздыков<sup>2</sup>, О.Ю. Бургонова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

*Аннотация.* В работе представлены результаты экспериментов по получению опытных лигатурных сплавов с двумя переходными металлами, получены зависимости твердости образцов с различной концентрацией модификатора от длительности термической обработки, показано различие в эффекте модифицирования при использовании бинарных и тройных лигатур.

*Ключевые слова:* лигатурные сплавы, переходные металлы, модифицирование, дисперсионное упрочнение, синергетический эффект.

В последнее время одним из ключевых направлений развития авиационной и ракетно-космической отрасли является создание конструкционных и функциональных металлических материалов с принципиально улучшенным комплексом технологических и механических свойств. Особый интерес представляют алюминийевые сплавы, обладающие высокими прочностными и ресурсными характеристиками. Для повышения качества таких сплавов необходимо совершенствовать их микроструктуру, управление которой осуществляется за счет добавок модифицирующих лигатур на основе алюминия с переходными элементами. Такие добавки придают сплаву уникальные свойства за счет измельчения зерна и дисперсионного упрочнения вторичными алюминидами [1–2].

Подбор и определенное соотношение переходных элементов, вводимых в алюминийевые сплавы с тройными лигатурами, обеспечивает проявление синергетического эффекта при модифицировании и легировании [3], что в значительной степени сказывается на прочностных характеристиках материала. Однако сведений по модифицированию алюминийевых сплавов двумя и более переходными металлами в мировой практике крайне мало.

Таким образом, целью данной работы являлось изучение влияния малых совместных добавок переходных металлов Y+Sc, Y+Zr, Y+Ti, вводимых с опытными тройными лигатурами, на упрочнение алюминия в процессе старения.

В качестве объекта модифицирования был выбран алюминий технической чистоты. Подготовка исходного расплава осуществлялась из гранулированного алюминия марки А97 в корундовых тиглях в шахтной электропечи при температуре 700–720°C в атмосфере аргона. Расплав был выдержан в течение 20 минут при наведении активного покровного флюса (45%NaCl, 55%KCl) и легирован переходными металлами, вводимыми с опытными лигатурами. С целью равномерного распределения переходных металлов в объеме, расплав выдерживался в течение 30 минут. Перемешивание

проводилось графитовым стержнем, инертным для данной системы при температуре 720°C. Готовый расплав заливался в бронзовую изложницу, скорость охлаждения при этом составила 200–1000 °C/с. Для получения пересыщенного переходными металлами твердого раствора алюминия образцы были подвергнуты дополнительному отжигу при 530°C в течение 5 часов с последующей закалкой в проточной воде. Полученные слитки были разрезаны на бруски размером 80×15×10 мм для изучения дисперсионного упрочнения сплавов в процессе старения при температуре 200°C.

Состав литых образцов и опытных лигатур, определенный методами аналитической химии, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав литых образцов и опытных лигатур

Номер образца	Состав литых образцов, масс.%	Состав лигатур, мас.%	Сумма легирующих элементов, мас.%
1	Al-0,023Y+0,086Zr	Al-1.23Zr-0.39Y	$\Sigma$ (Y+Zr) 0,109
2	Al-0,046Y+0,157Zr	Al-1.23Zr-0.39Y	$\Sigma$ (Y+Zr) 0,203
3	Al-0,066Y+0,245Zr	Al-1.23Zr-0.39Y	$\Sigma$ (Y+Zr) 0,311
4	Al-0,064Y+0,045Sc	Al-1.62Y-0.74Sc	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,109
5	Al-0,104Y+0,072Sc	Al-1.62Y-0.74Sc	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,176
6	Al-0,170Y+0,089Sc	Al-1.62Y-0.74Sc	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,259
7	Al-0,028Y+0,128Ti	Al-0.78Ti-0.31Y	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,156
8	Al-0,052Y+0,246Ti	Al-0.78Ti-0.31Y	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,298
9	Al-0,046Y+0,160Ti	Al-10Y, Al-3Ti	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,206
10	Al-0,117Y+0,272Ti	Al-10Y, Al-3Ti	$\Sigma$ (Y+Sc) 0,389

Для оценки степени упрочнения и качества термической обработки опытных образцов был выбран метод определения твердости по Бринелю, наименее критичный к чистоте подготовленной поверхности. Измерения проводились на универсальной одноосной испытательной машине Zwick/Roell Z050[4].

Для каждого сплава были получены кривые зависимости твердости от длительности термической обработки. Результаты испытаний образцов №1–3 представлены на рис. 1.

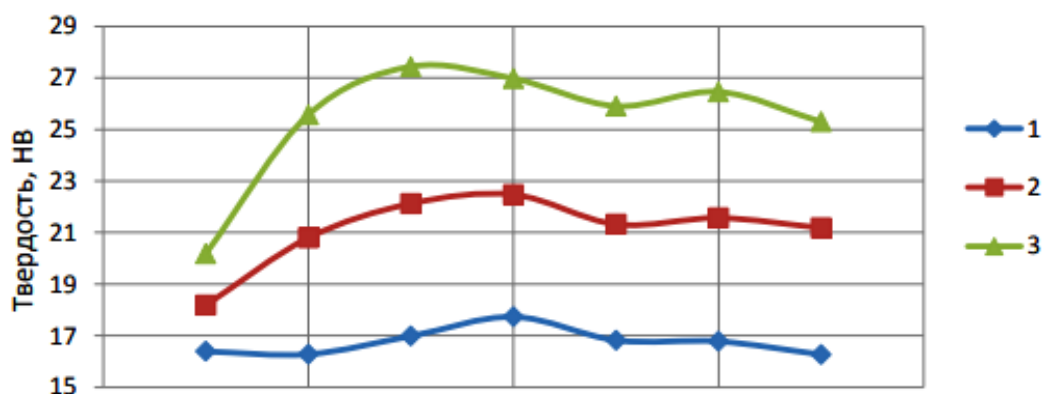


Рисунок 1 – Зависимость твердости образцов Al-Y-Zr с различной концентрацией модификатора от длительности термической обработки

На рис. 2 представлены результаты измерения твердости образцов №4–6.

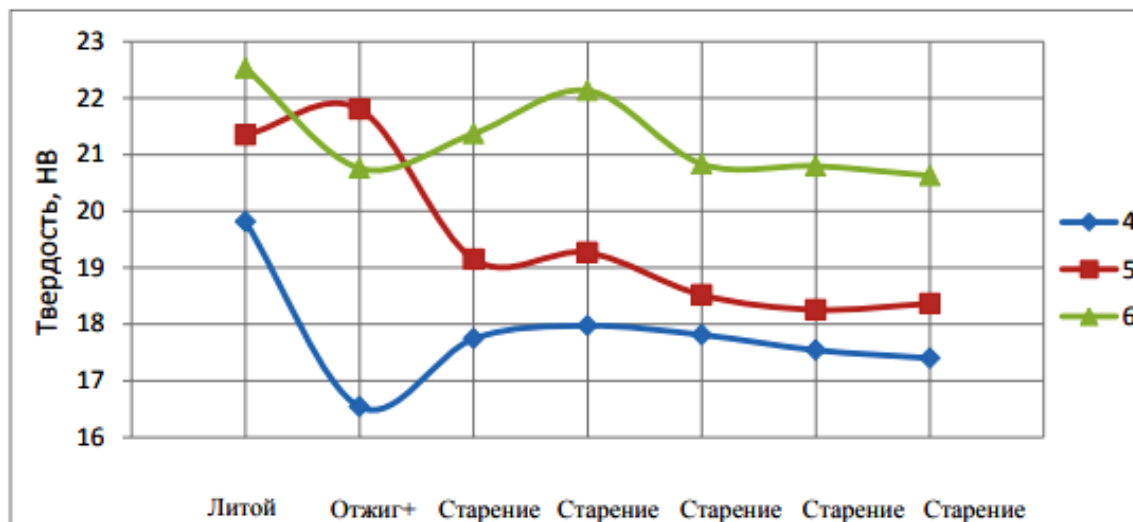


Рисунок 2 – Зависимость твердости образцов Al-Y-Sc с различной концентрацией модификатора от длительности термической обработки

Результаты измерения твердости образцов №7–10 представлены на рис. 3.

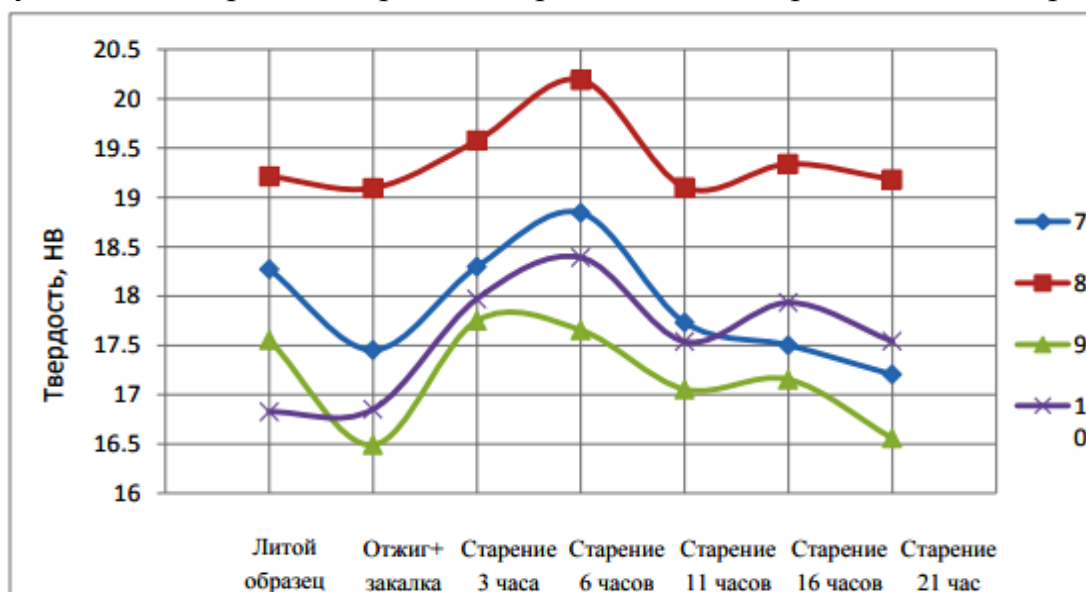


Рисунок 3 – Зависимость твердости образцов Al-Y-Ti с различной концентрацией модификатора от длительности термической обработки

Как видно из графиков, твердость каждого из образцов возрастает с увеличением содержания модифицирующих добавок и длительности старения, достигает максимума и затем снижается. Эффект перестаривания возникает через шесть часов от начала термической обработки при 200°C. Выпадающие значения и пересечения кривых твердости (см. рис. 2 и 3) свидетельствуют о попадании индентора в поры либо о неравномерном распределении легирующего компонента в алюминиевой матрице. Такие отклонения не позволяют однозначно судить о влиянии модифицирующей добавки на

прочностные характеристики сплава, что требует накопления большого количества статистических данных.

Тем не менее, стоит отметить, что тройная лигатура Al-Ti-Y, по сравнению с бинарными совместными добавками Al-Y и Al-Ti, оказала наибольшее влияние на дисперсионное упрочнение чистого алюминия, что в очередной раз подтверждает целесообразность разработки и применения тройных лигатурных сплавов.

#### Библиографический список

1. В.В. Овчинников, О.Е. Грушко. Высокотехнологичный свариваемый алюминиевый сплав В1341 системы Al-Mg-Si // Машиностроение и инженерное образование. 2005. № С. 2–11.
2. Е.Д. Захаров, В.В. Захаров, И.И. Новиков. Диаграммы изотермического распада раствора в алюминиевых сплавах. М.: Металлургия, 1973. 152 с.
3. И. Э. Игнатьев. Анализ механизма измельчения и коагуляции твердых частиц при низкочастотной обработке металлических расплавов / И. Э. Игнатьев, Э. А. Пастухов, Е. В. Игнатьева Расплавы 2012, №3, с. 3-7.
4. Н. А. Белов. Фазовый состав алюминиевых сплавов / Белов Н. А.; Гос. технол. ун-т, Моск. ин-т стали и сплавов. М. : Изд.. Дом МИСиС, 2009. 389 с.