

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ Al-Li-Ce**Н.И. Ганиева, Х.О. Одиназода, С.С. Раджабалиев, А.Д. Шамсиддинов**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье представлены результаты исследования тройной системы Al–Li–Ce и построения её фазовой диаграммы. Проведён анализ влияния содержания лития и церия на образование твёрдых растворов и интерметаллидов в алюминиевых сплавах, выявлены квазибинарные разрезы и их эвтектические и перитектические превращения. Исследования сплавов проводились методами рентгенофазового анализа (РФА) и дифференциально-термического анализа (ДТА), что позволило определить состав фаз, температуры кристаллизации и невариантные равновесия. Построенная диаграмма системы Al–Li–Ce даёт возможность определить фазовые и структурные изменения сплавов, что имеет практическое значение при разработке лёгких, прочных и коррозионностойких алюминиевых сплавов для аэрокосмической промышленности.

Ключевые слова: *тройная система Al–Li–Ce, фазовая диаграмма, квазибинарные разрезы, эвтектика, перитектика, проекция проверит ликвидуса.*

ТАДҚИҚ ВА СОХТАНИ ДИАГРАММАИ СИСТЕМАИ СЕГОНАИ Al–Li–Ce**Н.И. Ганиева, Х.О. Одиназода, С.С. Раджабалиев, А.Д. Шамсиддинов**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқи системаҳои сегонаи Al–Li–Ce ва сохтани диаграммаи фазавии он пешниҳод гардидаанд. Таҳлили таъсири миқдори литий ва церий ба ҳосилшавии ҳалҳои сахт ва интерметаллидҳо дар сплавҳои алюминий гузаронида шуд, буришҳои квазибинарӣ ва таҳлили эвтектикӣ ва перитектикӣ муайян карда шуданд. Таҳқиқоти ҳулоаҳо бо усулҳои таҳлили рентгенофазӣ (РФА) ва таҳлили дифференсиалӣ-термикӣ (ДТА) гузаронида шуд, ки ин имкон дод таркиби фазаҳоро муайян карда, ҳароратҳои кристаллизатсия ва мувозинати невариантиро муайян намояд. Диаграммаи сохтани система Al–Li–Ce имкон медиҳад, ки тағйироти фазавӣ ва сохтҳои сплавҳоро муайян кунанд, ки аҳамияти амалӣ дар таҳияи сплавҳои алюминийи сабук, қавӣ ва муқовиматнок ба зангзанӣ барои саноати аэрокосмос дорад.

Калидвожаҳо: *системаҳои сегонаи Al–Li–Ce, диаграммаи фазавӣ, разрези квазибинарӣ, эвтектика, перитектика, проекцияи ликвидус.*

STUDY AND CONSTRUCTION OF THE PHASE DIAGRAM OF THE Al–Li–Ce TERNARY SYSTEM**Ganieva N.I., Odina-zoda Kh.O., Rajabaliyev S.S., Shamsiddinov A.D.**

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This paper presents the results of the study of the Al–Li–Ce ternary system and the construction of its phase diagram. An analysis of the effect of lithium and cerium content on the formation of solid solutions and intermetallic compounds in aluminum alloys was performed, and quasi-binary sections and their eutectic and peritectic transformations were identified. The alloys were studied using X-ray phase analysis (XPA) and differential thermal analysis (DTA), which allowed determining the phase compositions, crystallization temperatures, and non-variant equilibria. The constructed phase diagram of the Al–Li–Ce system makes it possible to determine phase and structural changes in the alloys, which is of practical importance in the development of lightweight, strong, and corrosion-resistant aluminum alloys for the aerospace industry.

Keywords: *Al–Li–Ce ternary system, phase diagram, quasi-binary sections, eutectic, peritectic, liquidus projection.*

Введение

Алюминий-литиевые сплавы являются новым классом широко известных алюминиевых систем и характеризуются прекрасным сочетанием механических свойств: малой плотностью, повышенным модулем упругости и достаточно высокой прочностью. Это позволяет создавать аэрокосмическую технику с меньшей массой, что даёт возможность экономии горючего, увеличения грузоподъёмности и улучшения других характеристик летательных аппаратов [1].

Алюминиевые сплавы, легированные литием, относятся к стареющим системам и отличаются сложностью фазовых и структурных превращений в процессе их термообработки. Эти изменения оказывают сильное влияние на характеристики трещиностойкости, вязкости разрушения, коррозионной стойкости и сопротивления циклическим нагрузкам. Поэтому их изучение представляет большое научное и практическое значение [1, 2].

Увеличение содержания лития уменьшает плотность алюминия. Добавка лития в пределах твёрдого раствора приводит к непрерывному увеличению удельного сопротивления. Модуль упругости алюминия возрастает с увеличением содержания лития. При максимальной растворимости лития в твёрдом растворе модуль упругости составляет 8000 кг/мм². Увеличение содержания лития

приводит к повышению прочностных характеристик алюминия. При содержании лития до 2% прочность сплавов возрастает без снижения пластичности, при дальнейшем увеличении содержания лития пластичность резко снижается. Литий при концентрациях до 0,8% придаёт алюминиевым сплавам повышенную стойкость к коррозии, более высокую, чем у чистого алюминия [3-6].

Алюминиево-цериевый сплав (Al-Ce) — это перспективный легкий материал, содержащий алюминий и редкоземельный металл церий (обычно 20–30% Ce в лигатурах). Обладает высокой жаропрочностью, улучшенной литейностью и стойкостью к коррозии, часто используется для легирования и модифицирования других сплавов, а также применяется в ответственных конструкциях.

Материалы и методы исследования

Получение сплавов. Сплавы массой 10 г выплавляли в вакуумной печи сопротивления типа СНВЭ-1.3.1/16ИЗ под избыточным давлением (0,5 МПа) инертного газа (гелия) из алюминия марки А995, лития марки ЛЭ1 и церия марки ЦеЭ-0 (электролитический, чистота 99,9 % по ТУ 48-4-529-90). Сплавление шихты проводили в корундовых тиглях. Состав полученных сплавов выборочно контролировали путём взвешивания образцов до и после сплавления.

Исследование сплавов проводилось рентгенофазовым и дифференциально-термическим методами анализов.

Рентгенофазовый анализ сплавов. Для получения информации о составе фаз в сплавах использовался метод рентгенофазового анализа, который проводился на рентгеновском дифрактометре "ДРОН-1,5" с использованием отфильтрованного (фильтр-Ni) медного $K\alpha$ -излучения.

Фазовый состав исследуемых сплавов в зависимости от информации, полученной на дифрактограмме осуществляли следующим образом [7]. Расчётом теоретических дифрактограмм определяли межплоскостное расстояние (d) и интенсивность (I) для фаз, о которых имеются только данные о типе и размерах ячейки, поконченными при расчёте экспериментальной дифрактограммы. Если при сравнении экспериментально полученных d и I с теоретическими будет наблюдаться совпадение в пределах ошибки опыта, то это указывает на присутствие в смеси этой фазы, в противном случае - фаза отсутствует. Теоретические дифрактограммы не рассчитывали для фаз, о которых имеются не только данные о типе и размере ячейки, но даже d и I . В этом случае d и I , полученные при расчёте экспериментальной дифрактограммы, сравнивались со справочными материалами. Заключение о присутствии искомой фазы получали на основании результатов сравнения.

Анализируя полученные данные, учитывали относительную интенсивность линий. От отношения количества фаз в образце зависит интенсивность линий фаз на дифрактограммах. В связи с этим возможно ослабление или даже полное исчезновение слабых линий фаз, если её количество в смеси мало. Заключение о присутствии в исследуемой смеси искомой фазы может быть, в этом случае, лишь при условии обязательного присутствия на дифрактограмме нескольких (не менее трёх) наиболее интенсивных линий.

Приготовление образцов к рентгенофазовому анализу. Порошки сплавов для рентгенофазового анализа получали напылением, напильником, либо измельчением их в агатовой ступке под вакуумным маслом ВМ-1. Перед подготовкой каждого образца напильник очищали металлической щёткой, после чего очищали ацетоном и спиртом по два раза. Во избежание попадания микрочастиц материала напильника порошки очищали магнитом. Порошок насыпали на поверхность каретки аппарата так, чтобы он тонким равномерным слоем покрыл среднюю, рабочую часть каретки. Для устойчивого прилипания порошка на поверхность каретки пипеткой наносили 3-4 капли спирта. Затем, после испарения спирта каретку с образцом вставляли в аппарат и снимали дифрактограмму от 1Е до 80 градусов по показанию счётчика аппарата. При подготовке порошка в агатовой ступке после каждого образца для удаления загрязнений её промывали ацетоном и спиртом по два раза.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) сплавов проводили на установке марки ВДТА-8М (модернизированный вариант установки ВДТА, конструкции Института металлофизики АН Республики Украина) с использованием графитовых и корундовых тиглей в среде гелия марки ВЧ

(ТУ-51-681-75), под давлением 0,5 МПа. Навески для ДТА брались весом 1,0-1,5 г. В процессе исследования нами были приняты во внимание методические особенности проведения термического анализа, описанные в [7]. Скорость нагрева и охлаждения в зависимости от состава сплавов, варьировала в пределах от 40 до 80 град/мин. Датчиком температуры служила ($W/W + 20\%$ Re) термопара. Температуру термических эффектов определяли по кривым охлаждения. Градуировку термопар и термический анализ образцов проводили в одинаковых условиях (одинаковых скоростях нагрева и охлаждения, масс образцов, давления гелия и т.д.). Калибровку термопары производили по точкам плавления эталонов из особо чистых металлов и оксида: In- 157°C , Sn – 232°C , Al – 660°C , Cu – 1083°C , Fe - 911, 1392, 1539°C , Al_2O_3 - 2042°C . Точность измерения температуры составляла $\pm 1\%$ от измеряемой величины.

Результаты исследования

Фазовое равновесие. Фазовая диаграмма системы алюминий-литий-церий при 773K (50-100 ат. % алюминия) и 423K (0-50 ат. % алюминия) приведен на рис. 1. В системе литий-церий имеет место расслаивание в жидком и твердом состояниях, что подтверждается визуальными наблюдениями. Нижний слой состоит из церия, а верхний из лития.

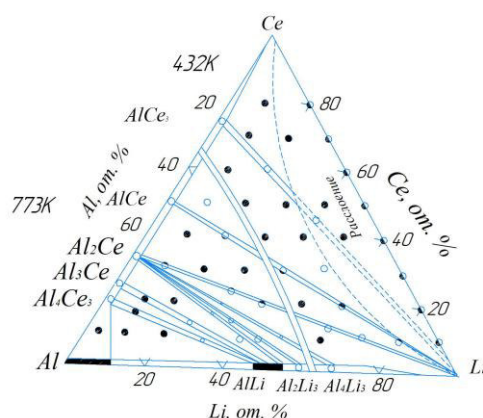


Рисунок 1 – Диаграмма фазовых равновесий системы алюминий-литий-церий
Figure 1 – Phase equilibrium diagram of the aluminum-lithium-cerium system

В тройную систему алюминий-литий-церий распространяется расслаивание, имеющее место в двойной системе литий-церий. Глубина расслаивания распространяется до 20 ат. % алюминия. Алюминий - твердый раствор находится в равновесии с двойными интерметаллидами $\text{Al}_{11}\text{Ce}_3$ и AlLi . Кроме того, соединение $\text{Al}_{11}\text{Ce}_3$ находится в двухфазном равновесии с интерметаллидом Al_4Li_9 , Al_2Li_3 и литием. Судя по незначительным изменениям периодом решеток соединений, находящихся в двойных и тройных областях, растворимость третьего компонента в них незначительна. Тройных соединений в системе Al-Li-Ce не обнаружено.

В системе Al-Li-Ce в области Al-Li- Al_2Ce нами установлены следующие квазибинарные разрезы: $\text{Al}_2\text{Ce-Li}$ и $\text{Al}_2\text{Ce-AlLi}$. Разрез $\text{Al}_4\text{Ce-AlLi}$ является частично квазибинарным, т.е. ниже 878 K сплавы данного разреза являются двухфазными.

Разрезы $\text{Al}_2\text{Ce-Li}$ (рис. 2а). Исследование сплавов данного разреза методами РФА и ДТА показали, что все они состоят из двух фаз: α -твердого раствора на основе Al_2Ce и β - твердого раствора на основе лития. Взаимная растворимость компонентов в данной системе незначительна. На термограммах всех сплавов, расположенных на указанном разрезе, обнаружено по два термических эффекта, первый из которых относится к кристаллизации твердого раствора на основе Al_2Ce , и второй термический эффект относится к перитектической реакции $\text{Ж} + \text{Al}_2\text{Ce} \leftrightarrow \beta \text{ Li}$, протекающей при 873K и 93 ат.% Li. Таким образом, разрез $\text{Al}_2\text{Ce-Li}$ является квазибинарной системой перитектического типа.

Разрезы $\text{Al}_2\text{Ce-AlLi}$ (рис. 2б). Сплавы данного разреза также исследовались методами РФА и ДТА анализов. Показано, что все сплавы являются двухфазными. По результатам исследования

построено политермическое сечение $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$. Как видно из рис. 2, система $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$ является эвтектической. Эвтектика кристаллизуется при 843 K по реакции $\text{Ж} \leftrightarrow \alpha - \text{Al}_2\text{Ce} + \beta - \text{AlLi}$.

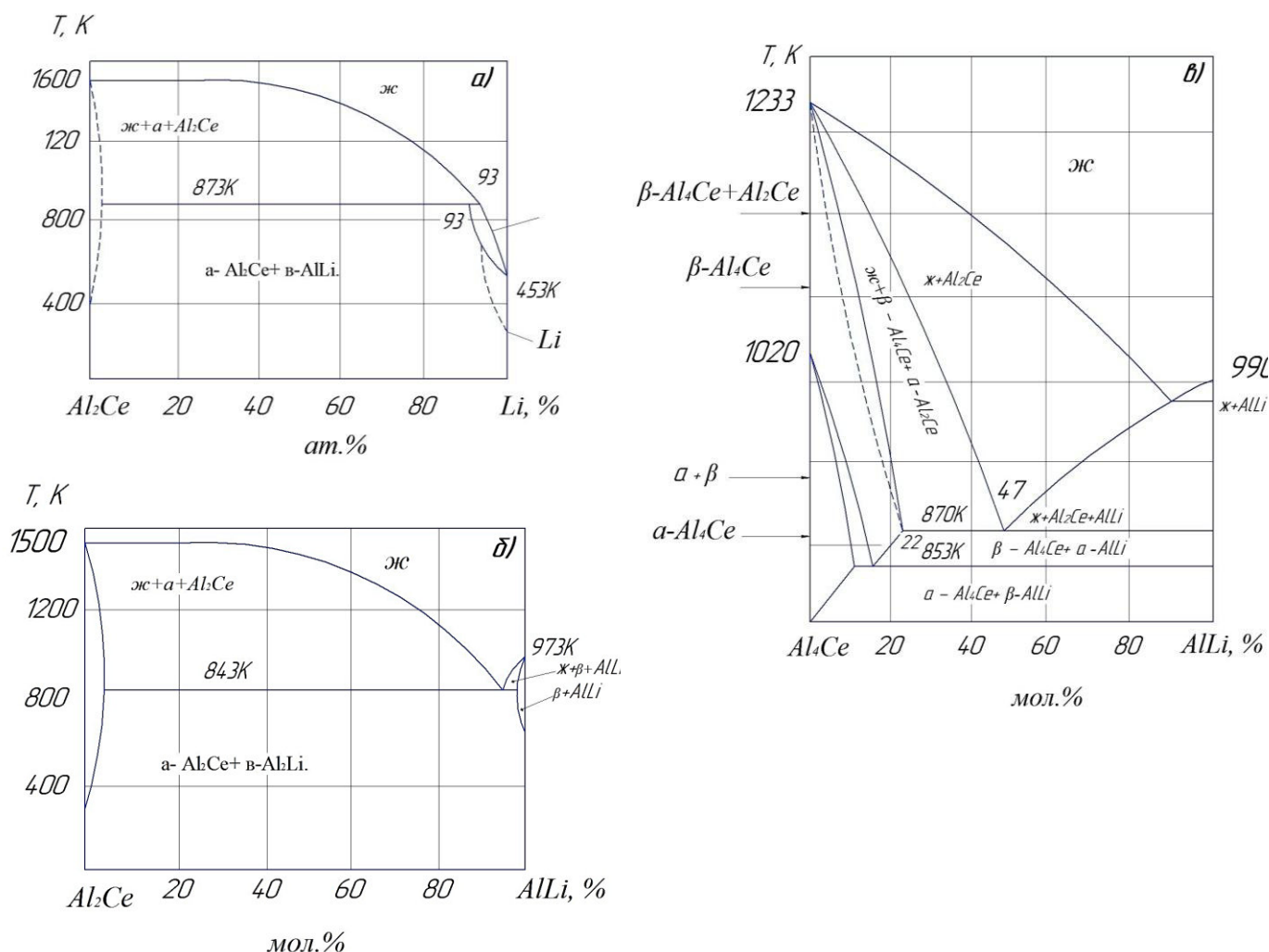


Рисунок 2 – Политермические разрезы системы Al-Li-Ce: разрезы $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{Li}$ (а); разрезы $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$ (б); разрезы $\text{Al}_4\text{Ce}-\text{AlLi}$ (в)

Figure 2 – Polythermal sections of the Al-Li-Ce system: sections $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{Li}$ (a); sections $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$ (б); sections $\text{Al}_4\text{Ce}-\text{AlLi}$ (в)

Разрезы $\text{Al}_4\text{Ce}-\text{AlLi}$ (рис. 2в). Ввиду того, что интерметаллическое соединение Al_4Ce плавится инконгруэнтно, сплавы данного разреза при температуре выше 878 K не являются квазибинарными. Это подтверждается данными ДТА анализа, т.е. на термограммах сплавов обнаруживается не менее трех термических эффектов, относящихся соответственно к первичной кристаллизации Al_2Ce и Al_4Ce и эвтектики ($\text{Al}_2\text{Ce}+\text{AlLi}$). Разрез $\text{Al}_4\text{Ce}-\text{AlLi}$ пересекает поле кристаллизации Al_2Ce и AlLi. Таким образом, сплавы данного разреза являются частично квазибинарными. Все сплавы разреза $\text{Al}_4\text{Ce}-\text{AlLi}$ окончательно кристаллизуются при 878K по перитектической реакции $\text{Ж}+\text{Al}_2\text{Ce} \leftrightarrow \beta - \text{Al}_4\text{Ce} + \beta - \text{AlLi}$. При 853 K в сплавах указанного разреза обнаружено эвтектоидное превращение $\beta - \text{Al}_4\text{Ce} \leftrightarrow \alpha - \text{Al}_4\text{Ce} + \gamma - \text{AlLi}$.

Квазибинарные разрезы $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{Li}$ и $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$ позволили нам триангулировать систему Al-Li-Ce в области Al-Li- Al_2Ce на следующие вторичные самостоятельные системы: Al- Al_2Ce – AlLi и Al_2Ce – AlLi- Li. Схема сингулярной триангуляции системы Al-Li- Al_2Ce пунктиром показана на рис.3.

Вторичная система Al- Al_2Ce -AlLi. В данной вторичной системе обнаружены два четырехфазных равновесия в точках P_1 и E_1 (рис. 3). Четырехфазное равновесие в точке E_1 относится

к эвтектическому превращению $\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al} + \text{Al}_4\text{Ce} + \text{AlLi}$, которое протекает при 753 К. Перитектическое превращение $\text{Ж} + \text{Al}_2\text{Ce} \leftrightarrow \text{Al}_4\text{Ce} + \text{AlLi}$ происходит при 878 К.

Вторичная система $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}-\text{Li}$ ограничена двумя системами эвтектического типа: $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{AlLi}$, $\text{AlLi}-\text{Li}$ и системой монотектического типа $\text{Al}_2\text{Ce}-\text{Li}$. Линии моновариантных эвтектических равновесий e_1E_1 , e_2E_2 , e_3P_1 , P_1E_1 , p_1P_1 делят систему на области кристаллизации: алюминия $e_1E_1e_2$, $\text{Al}_4\text{Ce}-e_1E_1P_1p_1$, $\text{AlLi}-e_2E_1P_1e_3P_2p_2$, $\text{Al}_2\text{Ce}-p_1P_1e_3P_1P_3E_2P_4$. Кристаллизация сплавов данной системы заканчивается при 753 К.

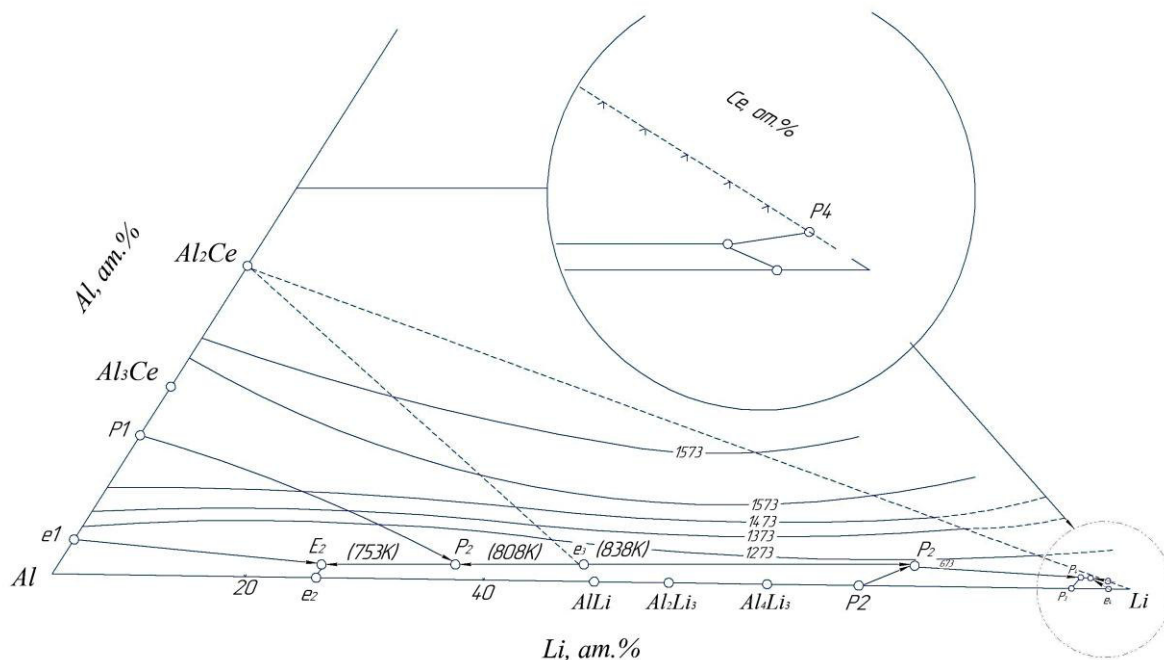


Рисунок 3 – Проекция поверхности ликвидуса системы $\text{Al}-\text{Li}-\text{Al}_2\text{Ce}$
Figure 3 – Projection of the liquidus surface of the $\text{Al}-\text{Li}-\text{Al}_2\text{Ce}$ system

Все эти три моновариантные линии сходятся в невариантной точке E_2 , где наблюдается невариантное четырехфазное эвтектическое равновесие $\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al}_2\text{Ce} + \text{AlLi}-\text{Li}$.

Поверхность ликвидуса. На рис. 3 приведена проекция поверхности ликвидуса системы $\text{Al}-\text{Li}-\text{Al}_2\text{Ce}$, которая состоит из 7 полей первичной кристаллизации: алюминиевого твердого раствора, Al_4Ce , Al_2Ce , AlLi , Al_2Li_3 , Al_4Li_9 и твердого раствора на основе лития. Координаты невариантных равновесий приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика невариантных равновесий в сплавах системы $\text{Al}-\text{Li}-\text{Al}_2\text{Ce}$

Table 1 – Characterization of invariant equilibria in $\text{Al}-\text{Li}-\text{Al}_2\text{Ce}$ system alloys

Нонвариантная точка	Равновесие	Концентрация компонентов, ат. %			Температура равновесия, К
		Al	Li	Ce	
e_1	$\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al} + \text{Al}_4\text{Ce}$	96,0	-	4,0	913
e_2	$\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al} + \text{AlLi}$	96,1	3,9	-	869
e_3	$\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al}_2\text{Ce} + \text{AlLi}$	49,5	48,5	2,0	(839) 843
e_4	$\text{Ж} \leftrightarrow \text{Al}_4\text{Li}_9 + \text{Li}$	2,0	98,0	-	450 (405)
p_1	$\text{Ж} + \text{Al}_2\text{Ce} \leftrightarrow \text{Al}_4\text{Ce}$	79,0	-	21,0	1508
p_2	$\text{Ж} + \text{AlLi} \leftrightarrow \text{Al}_2\text{Li}_3$	23,0	77,0	-	793
p_3	$\text{Ж} + \text{Al}_2\text{Li}_3 \leftrightarrow \text{Al}_4\text{Li}_9$	10,0	90,0	-	603

Окончание таблицы 1

p ₄	Ж+ Al ₂ Ce ↔ Li	1,1	97,0	1,9	878 (873)
p ₅	Ж ↔ Ce + β- Li	-	89,9	10,8	383
E ₁	Ж ↔ Al+ AlLi+ Al ₄ Ce	50,5	47,0	2,5	753
E ₂ (P ₄)	Ж+ Al ₂ Ce ↔ Al ₄ Li ₉ + Li	7,3	90,0	2,7	405 (450)
P ₁	Ж+ Al ₂ Ce ↔ Al ₄ Ce+ AlLi	75,7	20,9	3,4	808
P ₂	Ж+ Al ₂ Ce ↔ AlLi+ Al ₂ Li ₃	57,6	38,4	4,0	613
P ₃	Ж+ Al ₂ Ce ↔ Al ₂ Li ₃ + Al ₄ Li ₉	12,2	85,5	2,3	505
P ₄	Ж+ Al ₂ Ce ↔ Al ₄ Li ₉ + Li	7,3	90,0	2,7	465

Заключение

В результате исследования тройной системы Al–Li–Ce и построения её фазовой диаграммы установлено, что тройных соединений в данной системе не обнаружено, а образуются в основном твердые растворы и интерметаллиды в двухфазных и тройных областях.

Квазибинарные сечения Al₂Ce–Li и Al₂Ce–AlLi показали, что они представляют собой перитектическую и эвтектическую системы соответственно. Сечение Al₄Ce–AlLi является частично квазибинарным и характеризуется наличием перитектических и эвтектоидных превращений. Проекция ликвидуса и термический анализ позволили определить основные процессы кристаллизации фаз и выявить невариантные четырехфазные равновесия.

Построение фазовой диаграммы и выявление квазибинарных сечений позволяют прогнозировать фазовые и структурные изменения в алюминиевых сплавах, что имеет практическое значение при разработке легких, прочных и коррозионноустойчивых сплавов для аэрокосмической промышленности.

Таким образом, результаты исследования создают прочную научную основу для проектирования новых алюминиевых сплавов с улучшенными механическими и химическими свойствами.

Рецензент: Бердиев А.Э. — д.т.н., профессор кафедры «Химии и биологии» Российско-Таджикского (Славянского) университета

Литература

1. Воздвиженский, В. М. Прогноз эвтектического и перитектического равновесия в простых двухкомпонентных металлических системах / В. М. Воздвиженский // *Металловедение и физика металлов* (М.Ф.Х.). – 1968. – № 11. – С. 2791–2794.
2. Фридляндер, И. Н. Конструкционные сплавы (серия: Алюминиевые сплавы) / И. Н. Фридляндер (ред.). – М.: *Металлургия*, 1968.
3. Фридляндер, И. Н. *Металловедение алюминия и его сплавов* / И. Н. Фридляндер (отв. ред.). – М.: *Металлургия*, 1971. – 384 с.
4. Фридляндер, И. Н. Алюминий-литиевые сплавы. Структура и свойства / И. Н. Фридляндер, К. В. Чуистов, А. Л. Березина, Н. Н. Колобнев. – Киев: *Наукова думка*, 1992. – 672 с.
5. Воздвиженский, В. М. Прогноз двойных диаграмм состояния / В. М. Воздвиженский. – М.: *Металлургия*, 1974. – 270 с.
6. Исмонов, Р. Д. Влияние галлия и таллия на микроструктуру и механические свойства алюминиево-бериллиевого сплава / Р. Д. Исмонов, А. М. Сафаров, С. С. Раджабаев, С. Т. Бадурдинов // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. – 2024. – № 1(65). – С. 65–68. – ISSN 2520-2227.
7. Ганиев, И. Н. Координаты моно- и невариантных равновесий в системе Al–Li–BaAl₄ / И. Н. Ганиев, Х. М. Назаров, Н. И. Ганиева, Б. Б. Абдурахимов, А. Г. Сафаров // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. – 2015. – Т. 58, № 2. – С. 149–152.

Reference

1. Vozdvizhenskii, V. M. Prediction of Eutectic and Peritectic Equilibrium in Simple Two-Component Metallic Systems / V. M. Vozdvizhenskii // *Metallurgy and Physics of Metals* (M.F.Kh.). – 1968. – No. 11. – pp. 2791–2794.
2. Fridlyander, I. N. Structural Alloys (series: Aluminum Alloys) / I. N. Fridlyander (ed.). – Moscow: *Metallurgy*, 1968.
3. Fridlyander, I. N. *Metallurgy of Aluminum and Its Alloys* / I. N. Fridlyander (ed.). – Moscow: *Metallurgy*, 1971. – 384 p.
4. Fridlyander, I. N. Aluminum-Lithium Alloys. Structure and Properties / I. N. Fridlyander, K. V. Chuistov, A. L. Berezina, N. N. Kolobnev. - Kyiv: *Naukova Dumka*, 1992. - 672 p.

5. Vozdvizhensky, V. M. Forecast of Binary State Diagrams / V. M. Vozdvizhensky. - Moscow: Metallurgy, 1974. - 270 p.
6. Ismonov, R. D. Effect of Gallium and Thallium on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum-Beryllium Alloy / R. D. Ismonov, A. M. Safarov, S. S. Radzhabaliev, S. T. Badurdinov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2024. - No. 1 (65). - Pp. 65–68. - ISSN 2520-2227.
7. Ganiev, I. N. Coordinates of mono- and nonvariant equilibria in the Al-Li-BaAl₄ system / I. N. Ganiev, H. M. Nazarov, N. I. Ganieva, B. B. Abdurakhimov, A. G. Safarov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. - 2015. - Vol. 58, No. 2. - P. 149-152.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Ганиева Наргис Изатуллоевна н.и.т., дотсенти кафедраи масолахшиносӣ, мошинҳо ва таҷҳизоти металлургӣ	Ганиева Наргис Изатуллоевна к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение, металлургические машины и оборудование»	Ganieva Nargis Izatulloevna Candidate of Technical Sciences, Senior teacher of the Department «Materials Science, metallurgical machines and equipment»
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: nargisganieva77@gmail.com		
TJ	RU	EN
Одиназода Хайдар Одина	Одиназода Хайдар Одина	Odinazoda Haidar Odina
Узви вобастаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, д.и.т., профессор	член-корр. Национальной академии наук Таджикистан, д.т.н., профессор	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: odhaidar@mail.ru		
TJ	RU	EN
Рачабалиев Сафомудин Сайдалиевич	Раджабалиев Сафомудин Сайдалиевич	Rajabaliev Safomudin Saidalievich
н.и.т., дотсенти кафедраи масолахшиносӣ, мошинҳо ва таҷҳизоти металлургӣ	к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение, металлургические машины и оборудование»	Candidate of Technical Sciences, Senior teacher of the Department «Materials Science, metallurgical machines and equipment»
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: safo_02@mail.ru		
TJ	RU	EN
Шамсиддинов Амриддин Ҷамолиддиновч	Шамсиддинов Амриддин Джамолиддиновч	Shamsiddinov Amriddin Jamoliddinovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
Донишкадаи тибии иҷтимоӣ	Институт социальной медицины	Associate Professor at the Institute of Social Medicine