

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТЖИГА НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ СПЛАВОВ Al-Fe-Si, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

ЦЗЕ ЛИ, Ж.Г. КОВАЛЕВСКАЯ

Томский политехнический университет

E-mail: cze2@tpu.ru

Введение. Алюминий имеет низкие производственные затраты. В то же время различные алюминий-железные соединения, образованные железом в алюминии, стабильны при высоких температурах, их нелегко выращивать, они обладают хорошей термостойкостью, износостойкостью и стойкостью к окислению. Алюминий-железные сплавы сохраняют характеристики легкой плотности алюминиевых сплавов. Эти преимущества делают алюминий-железные сплавы привлекательными для людей и становятся одним из новых легких жаропрочных материалов с большими перспективами развития [1].

Актуальность работы данной работы заключается в необходимости исследовать алюминиевые сплавы, содержащие интерметаллиды системы Al-Fe-Si, полученные с помощью электронно-лучевой технологии, описанные в работе [2].

Целью работы является дальнейшее изучение механических свойств и микроструктуры сплавов Al-Fe-Si, полученных электронно-лучевой аддитивной технологией после отжига.

Экспериментальная часть. Образцы, полученные аддитивным способом, засыпанные углеродным порошковым порошком, помещали в камерную печь для отжига при 550 °С и 600 °С в течение 2 часов соответственно, а затем охлаждали в печи.

Строение образцов изучали на микроскопе CarlZeiss AxioObserver. Оценивалось расположение, форма и размер зерен, а также наличие объёмных дефектов, рисунок 1а-в.

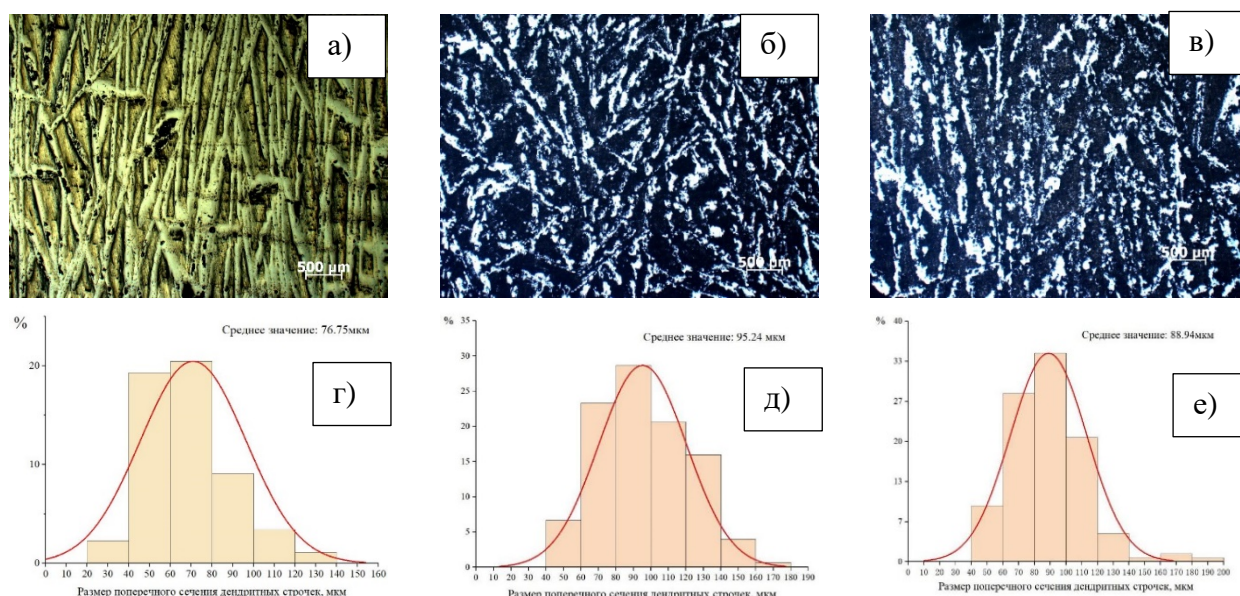


Рисунок 1 – Микроструктура и гистограмма распределения размеров дендритов в поперечном сечении образца:

а) и г) перед отжигом; б) и д) после отжига при 550 °С; в) и е) после отжига при 600 °С

После использования программы Image J для анализа размера зерен в микроструктуре образца был сделан вывод, что средняя ширина дендритов в микроструктуре до отжига составляла $76,75 \pm 30,75$ мкм, рисунок 1 г, а после отжига при 550 °С и 600 °С дендриты были значительно больше, средняя ширина дендритов в микроструктурах составила $95,24 \pm 25,17$ и $88,94 \pm 24,26$ мкм соответственно, рисунок 1 д, 1 е. Можно сделать вывод,

что после отжига образцов дендриты в микроструктуре образцов становятся толще, рисунок 2.

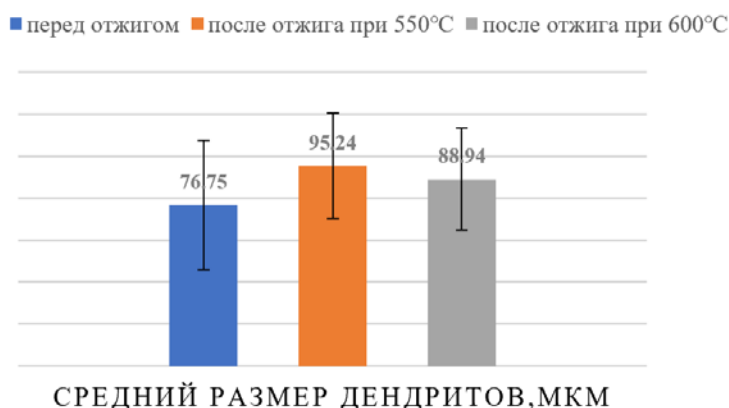


Рисунок 2 – Сравнение среднего размера дендритов в разных случаях

Рентгеноструктурный анализ основан на явлении дифракции рентгеновских лучей на трёхмерной кристаллической решётке. Этот метод позволяет изучить фазовый состав сплава и определить состав веществ в сплаве.

Таблица 1 – Фазовый состав образца

Режим	Фаза	Al	Al _{9.75} Fe ₃ (или Al ₉ Fe ₂ Si ₂)	Si
		Содержание, об. %	Содержание, об. %	Содержание, об. %
Электронно-лучевой способ		80	15	5
Отжиг 550 °C		91	9	-
Отжиг 600 °C		93	7	-

По результатам рентгеноструктурного анализа было получено, что образцы, после отжига, состоят из ваз твердый раствор на основе Al и Al_{9.75}Fe₃ (или Al₉Fe₂Si₂), таблица 1.

С помощью измерения микротвердости отдельных структурных составляющих был определен тип фаз с черным и белым контрастом в структуре сплава.

Измерения микротвердости образцов проводили по методу Виккерса при нагрузках на индентор 50 г. Измерение значений микротвердости показало, что дендриты и междендритное пространство имеют большой разброс значений микротвердости.

После отжига при 550°C микротвердость фазы с белым контрастом HV = 9336 – 11350 МПа, микротвердость фазы с черным контрастом HV = 493 – 537 МПа. После отжига при 600 °C микротвердость фазы с белым контрастом составляет HV = 8287 – 9297 МПа, микротвердость фазы с черным контрастом HV = 954 – 1451 МПа. Средняя микротвердость составляет 5071 МПа, что ниже средней микротвердости образцов до отжига [2].

Путем поиска в литературе была найдена следующая информация о микротвердости алюминия и его различных фаз. Микротвердость чистого Al около 37 HV (363 МПа) [3]. Микротвердость фазы α-Al в сплаве Al-Si составляет 60 – 100 HV (588 – 980 МПа) [4].

Максимальной микротвердостью обладают фазы интерметаллидов FeAl₃; FeAl₂; Fe₂Al₇; Fe₂Al₅. Значение микротвердости для этих фаз колеблется в интервале от 9600 до 11500 МПа [5]. Для фазы FeAl₃ 772 - 1017 HV (7565 – 9966 МПа) [6].

Из приведенных выше данных можно определить, что светлая структурная составляющая представляет собой зерна Al_{9.75}Fe₃ (FeAl₃) фазы, а темная структурная составляющая представляет собой смесь двух основных фаз α-Al и Al_{9.75}Fe₃ (FeAl₃), рисунок 3.

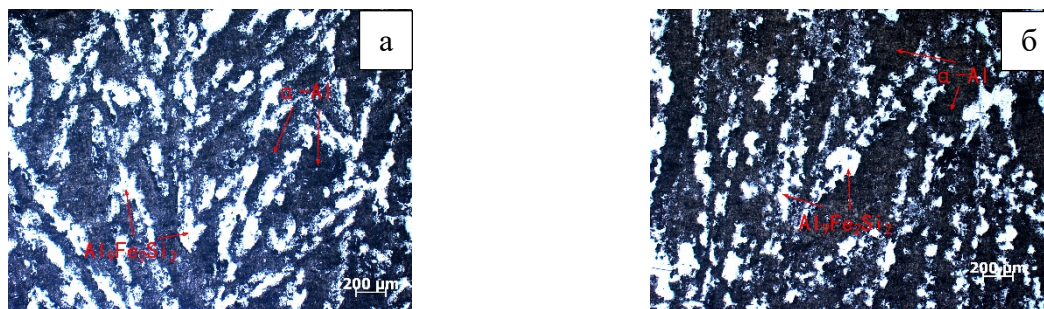


Рисунок 3 – Микроструктура поверхности образца:
а - после отжига при 550 °С; б - после отжига при 600 °С

Заключение. В результате проведенной исследовательской работы сделаны следующие выводы:

1. В сплаве системы Al-Fe, полученной аддитивным способом, после отжига при 550 °С и 600°С в течение двух часов средняя ширина дендритов и междендритного пространства в микроструктуре составила 95,24 и 88,94 мкм, соответственно. После отжига дендриты становятся толще.

2. По данным рентгеноструктурного анализа в сплаве присутствуют две фазы Al и $Al_{9,75}Fe_3$ ($FeAl_3$).

3. Используя результаты анализа микротвердости подтверждается, что светлая структурная составляющая представляет собой зерна $Al_{9,75}Fe_3$ ($FeAl_3$) фазы, а темная структурная составляющая представляет собой смесь двух основных фаз α -Al и $Al_{9,75}Fe_3$ ($FeAl_3$). В то же время, по сравнению с исходным образцом, микротвердость алюминиево-железного сплава после отжига снижается.

Список литературы

1. Wang J. Research on microstructure and mechanical property of iron-aluminide synthesized by laser cladding. – М.: Shandong University, 2015 – 108p.
2. Ли Ц., Ковалевская Ж.Г. Исследование микроструктуры и микротвердости алюминиевого сплава, изготовленного электронно-лучевой аддитивной технологией // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов: Сборник докладов III Междунар. научно-практической конференции – Томск, 2023. – Т. 4. – С. 528–533.
3. Jiang Q. Study on stirring assisted casting prepared AlFeSi/Al in-situ composites. – М.: East China Jiaotong University – 2016 – 71p.
4. Zhang W. Control of the Second Phase Morphology in Al-Si-Fe Alloy. – М.: Liaoning Technical University – 2003 – 48p.
5. Kishore K. Microstructure evolution and hardness of hot dip aluminized coating on pure iron and EUROFER 97 steel: Effect of substrate chemistry and heat treatment // Surface and Coatings Technology. – 2021. – Vol. 409. – 126783.
6. Basariya M.I.R., Mukhopadhyay N.K. Structural and Mechanical Behaviour of Al-Fe Intermetallics // Intermetallic Compounds – 2018. – P. 97–122.