

## Отзыв

На автореферат диссертации Эсмаили Гайумабади Маджида “ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ И СВЕРХПЛАСТИЧНОГО СОСТОЯНИЯ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si, ЛЕГИРОВАННЫХ ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ”, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 “Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов”.

В диссертации Эсмаили Гайумабади Маджида изучено влияние легирования железом, никелем, скандием, цирконием, эрбием, иттрием и церием на фазовый состав и параметры зеренной структуры после термомеханической обработки алюминиевого сплава типа 6013. Исследование отличается новизной и его результаты несколько расширили границы знаний в исследуемой области, а также внесли значительный вклад в разработку сплавов Al-Mg-Si для сверхпластической формовки. Задачи работы актуальны с точки зрения состояния сверхпластичности. В автореферате отражено краткое содержание работы, обоснована актуальность поставленной проблемы, представлены цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость. Обзор литературы в автореферате приведен кратко, автор анализирует данные о фазовом составе и параметрах структуры сплавов на основе Al-Mg-Si, описаны некоторые способы подготовки структуры для реализации сверхпластической деформации в указанных сплавах. Автор делает вывод, что сплавы склонны к ускоренному росту зерна при повышенных температурах, что ограничивает их способность к проявлению сверхпластичности. Для формирования микрозеренной структуры в работе реализован подход одновременного стимулирования рекристаллизации путем добавления эвтектообразующих элементов (Fe, Ni, Ce, Er, Y) и ограничения роста рекристаллизованных зерен через введение дисперсоидообразующих элементов из переходных металлов (в основном Sc, Zr). В автореферате представлено описание методики, из которой следует, что сплавы получены в условиях сравнительно быстрой кристаллизации, при 15 К/с, что соответствует полунепрерывному литью тонких слитков и снизит производительность, а значит и экономическую эффективность производства. Описана методика пробоподготовки, микроструктурных исследований и анализа свойств. Автор уделяет большое внимание анализу фазового состава и микроструктуры сплавов после кристаллизации. Показано, что добавление Sc (до 0,2%) и Zr (0,2%) не приводит к формированию фаз при кристаллизации в одних сплавах, при этом приводит к появлению включений фазы  $Al_2Si_2Sc$  в других сплавах.

Автор выявил усиление модифицирующего литое зерно эффекта при введении скандия циркония и иттрия одновременно, результат интересный, другие переходные металлы такого результат не дали. Автор выбирает режим термообработки после литья путем анализа изменений

твердости при температуре 350 °С, выбранной на основании данных литературы для сплавов с цирконием и скандием, термообработка необходима для получения дисперсоидов L1<sub>2</sub> фазы. При этом, для фрагментации и сфероидизации фаз эвтектического происхождения использует кратковременный (3 часа) отжиг при 480°С, который приводит к росту частиц L1<sub>2</sub> фазы. Температура отжига на второй ступени требует обоснования. В работе представлена сравнительная таблица с параметрами частиц вторых фаз, что облегчает анализ полученных данных.


Сравнением показателей сверхпластичности и механических свойств при комнатной температуры всех сплавов были выбраны наиболее перспективные композиции. Показано, что увеличение содержания никеля за счет уменьшения среднего размера зерен приводит к улучшению сверхпластичности сплавов, но снижает механические свойства. Добавки Ег и Се обеспечивают сверхпластичность при низких скоростях деформации, при этом, также несколько снижают механические свойства. Наилучшие показатели сверхпластичности с относительным удлинением до 650% при скоростях деформации выше  $5 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  были обнаружены в сплавах с добавками Fe и Ni в качестве эвтектообразующих элементов, образующих ~6% частиц фазы Al<sub>9</sub>FeNi и с пониженным до 0,1% содержанием скандия.

Диссертация содержит 4 раздела, основные результаты которых описаны в тексте автореферата. Автореферат изложен понятно, результаты описаны логично и последовательно, хотя присутствуют опечатки. По работе возникли следующие замечания и вопросы:

1) Из автореферата не понятно от каких факторов зависит появление в сплавах фазы со скандием и кремнием при кристаллизации?

2) Какие факторы на взгляд автора являлись определяющими при эффекте модифицирования слитка сплавов, почему именно иттрий привел к значительному модифицирующему эффекту?

Несмотря на указанные замечания, работа заслуживает высокой оценки и представления к защите, а автор заслуживает присвоения ему степени кандидата технических наук по направлению 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Инженер-технолог ООО ИЛМиТ, к.т.н.  /Иванов Дмитрий Олегович/  
(подпись) *расшифровка подписи*

Подпись Иванова Д.О. заверяю

 *расшифровка подписи*  
(подпись) *расшифровка подписи*  
М.П. «06» декабря 2022 г.

