

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Халил Асмаа Мостафа Рабие на тему: «Исследование формирования структуры в процессе лазерной обработки алюминиевых сплавов, предназначенных для аддитивных технологий» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

### 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

В диссертационной работе Халил Асмаа Мостафа Рабие разработана и опробована методика анализа структурообразования в многофазных сплавах в условиях быстрой кристаллизации для создания новых алюминиевых сплавов, предназначенных для аддитивных технологий. Представленная работа посвящена разработке решений по управлению кристаллизацией и формированием структуры в процессе лазерного плавления на примере сплавов систем Al-Zn-Mg-Cu и Al-Cu-Mg для снижения их склонности к образованию и развитию трещин, обеспечения перехода от столбчатой к равноосной мелкодисперсной структуре, а также получению после кристаллизации заданного химического состава сплава. Разработка таких решений и изучение влияния малых добавок элементов, представленных в работе, является актуальной задачей для развития аддитивных технологий производства изделий путем лазерного плавления.

Для достижения поставленной в работе цели автором четко сформулированы и решены задачи, а именно: изучены закономерности влияния малых добавок модифицирующих элементов на структурообразование в процессе лазерного переплава, установлено влияние температуры на структуру обрабатываемых лазером сплавов, изучено влияние предварительной гомогенизации на образование и развитие трещин в процессе кристаллизации, изучено влияние лазерной обработки на изменение химического состава сплава. На основе полученных результатов исследования автором предложены новые составы и способы улучшения технологичности алюминиевых сплавов в процессе лазерного плавления.

В работе большое внимание уделено закономерности влияния модифицирующих элементов Ti, B и Sc, Zr на измельчение зеренной структуры зоны лазерного плавления, повышение ее однородности и подавление формирования зоны столбчатых кристаллов, уменьшение количества кристаллизационных и ликвационных трещин. Установлено, что наибольшая эффективность достигается при использовании высоких концентраций указанных элементов более 2 и 0,4 % масс. для Ti и B, соответственно, и 0,3 % масс. Sc и 0,5% масс. Zr. Показано, что совместное использование подогрева во время поверхностного лазерного плавления, в сочетании с использованием модификаторов зерна (Al) сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu и Al-Cu-Mg, позволяет полностью подавить образование зоны столбчатых кристаллов и увеличить трещиностойкость в процессе кристаллизации зон лазерного плавления. В результате разработан комплекс решений для получения однородной мелкозернистой структуры в зоне лазерного плавления свободной от трещин.

Работа выполнена с привлечением современных методов исследования. Использованные методики и объем экспериментальных данных позволяют говорить о достоверности полученных в диссертационной работе результатов научной и практической значимости. Результаты работы представлены и обсуждены на всероссийских и международных научных конференциях, а также опубликованы 4 научных статьи, полностью отражающих содержание диссертации.

По работе можно сделать следующее замечание:

1. Кандидат использовал много сплавов. Были ли проведены экономические расчеты при выборе элементов и их содержания, или данные сплавы являются модельными, а для промышленного производства необходимо искать более дешевые композиции? Был ли проведен предварительный анализ кандидатных материалов?
2. В работе большое внимание уделено влиянию на формирование микроструктуры частиц  $Al_3(Zr,Sc)$ ,  $Al_3Ti$  и  $TiB_2$ , однако прямого экспериментального подтверждения (рентгенофазовый анализ, EDS анализ и т.д.) наличия этих частиц не представлено.

Замечания носят частный характер и не снижают общий высокий уровень работы, Соискателю Халил Асмаа Мостафа Рабие может быть присвоена степень кандидата технических наук по специальности 2.6.1 — “Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов”.

Заместитель генерального директора  
– директор Института металлургии  
и машиностроения, к.ф.-м.н.  
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»  
Госкорпорация «Росатом»

«05» 12 2022 г.



И.А.Иванов

Адрес организации:

Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения»  
(АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4

Тел.: +7 (495) 675-83-00 доб. 33-44

e-mail: IAIvanov@cniitmash.com