

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО
«Новосибирский государственный
технический университет», доцент



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Гэн Яньфэй «**Особенности формирования структуры и свойств при электронно-пучковой обработке Al-Mg сплава, полученного проволочно-дуговым аддитивным способом**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. **Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**

Актуальность темы диссертационной работы

Al-Mg сплавы обладают высокой прочностью, отличной коррозионной стойкостью, низкой плотностью и хорошей формуемостью. Благодаря этим преимуществам сплавы Al-Mg широко используются в различных отраслях обрабатывающей промышленности, таких как автомобилестроение, самолетостроение. Проволочно-дуговое аддитивное производство (wire arc additive manufacturing – WAAM) считается одним из перспективных методов в обрабатывающей промышленности, который может эффективно сократить производственный цикл и снизить материальные затраты. Текущее использование методов WAAM для изготовления деталей из Al-Mg сплавов характеризуется рядом проблем, связанных с неравномерностью микроструктуры, сегрегацией элементов и градиентом механических свойств. Эти проблемы серьезно влияют на свойства поверхности деталей из Al-Mg сплавов. Эффективным способом, которой может существенно повысить уровень свойств поверхностных слоев материалов, полученных аддитивным способом, может являться электронно-пучковая обработка. Однако, разработка технологий электронно-пучковой обработки на Al-Mg сплаве, полученном методами аддитивного производства, требует проведения комплексных теоретических и экспериментальных исследований. В связи с этим, диссертационная работа Гэн Яньфэй на тему «**Особенности формирования структуры и свойств при электронно-пучковой обработке Al-Mg сплава, полученного проволочно-дуговым аддитивным способом**», является актуальной на данном этапе развития методов аддитивного производства.

Актуальность работы также подтверждается ее выполнением в рамках гранта РФФИ № 20-79-00194 (на тему «Изучение закономерностей формирования структурно-фазового состояния и физико-механических свойств Al-Mg сплава, полученного по технологии холодного переноса металла, после воздействия интенсивных импульсных электронных пучков»).

Содержание работы

Диссертация изложена на 129 страницах машинописного текста, структурно состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 133 наименований и 4 приложений. Содержит 47 рисунков и 10 таблиц.

Введение включает в себя обоснование актуальности работы, содержит описание степени разработанности темы исследования, личного вклада автора, научной новизны и практической значимости работы, методологии и методов исследований.

В первой главе приводятся результаты анализа отечественных и зарубежных научных источников, отражающих современное состояние проблемы исследования микроструктуры и механических свойств алюминиевых сплавов, изготовленных методом аддитивного производства, и результаты анализа современного состояния проблемы модификации структуры и свойств сплавов на основе Al, Mg и Ti с помощью электронно-пучковой обработки. На основе анализа литературных источников сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе содержится описание материала, выбранного в работе для исследований, оборудование, использованное для осуществления электронно-пучковой обработки, аналитическое оборудование и методики проведения исследований.

В третьей главе представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств Al-Mg сплава до электронно-пучковой обработки. Исследования проведены с двумя группами образцов, вырезанными вдоль и поперек направления наплавки. Показано, что в обоих направлениях имеются зоны с крупным и мелким зерном. При проведении рентгенофазовых исследований и темнопольных исследований методами просвечивающей электронной микроскопии установлено, что образцы сплава Al-Mg состоят из твердого раствора на основе Al и фазы Al_3Mg_2 . Между областями А и В нет видимой разницы в фазовом составе.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния электронно-пучковой обработки на структуру и свойства аддитивного Al-Mg сплава. Микроструктура поверхности и поперечного сечения образцов Al-Mg сплава, обработанных импульсным электронным пучком, была проанализирована методами сканирующей электронной микроскопии. Исследование фазового состава

аддитивного Al-Mg сплава после ЭПО показали, что фазовый состав поверхностном слое не изменяется независимо от использованных режимов воздействия. Методами просвечивающей электронной микроскопии выполнены исследования поверхностного слоя после электронно-пучковой обработки и установлено, что облучение аддитивно-изготовленного Al-Mg сплава в режиме ($E_s=5$ Дж/см²) приводит к измельчению зеренной структуры и формированию внутриверенной субструктуры с размером около 120 нм. При $E_s=10$ Дж/см², размер внутриверенной субструктуры возрастает до 200 нм. Увеличение плотности энергии пучка электронов с 10 Дж/см² до 15 Дж/см² приводит к формированию субструктуры размером 350-500 нм и образованию включений ($Mn_{4,6}Fe_{0,4}Si_3$) размером 10-13 нм. При $E_s=15$ Дж/см², число включений максимально. Показано, что предел прочности и предел текучести уменьшаются по мере увеличения плотности энергии пучка электронов, а КАМ увеличивается по мере увеличения плотности энергии пучка электронов.

В пятой главе представлено описание результатов использования исследований в промышленных условиях, в научном и учебном процессах. Полученные научные результаты диссертационной работы нашли применение в практике научных исследований Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева и Сибирского государственного индустриального университета, а также в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов.

В заключении приведены выводы по работе.

В приложении представлены свидетельство о регистрации базы данных, справка об использовании результатов диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость работы

Получены экспериментальные данные по влиянию обработки электронными пучками на структуру, формирование и эволюцию фазового состава аддитивно изготовленного Al-Mg сплава, а также рассмотрено влияние воздействия разных режимов электронно-пучковой обработки на его механические свойства.

Практическая значимость заключается в существенном улучшении свойств аддитивно изготовленных изделий из Al-Mg сплава. На численные результаты исследований зарегистрирована база данных.

Результаты диссертации апробированы при проведении научных исследований в Сибирском государственном индустриальном университете (грант РНФ №20–79–00194), Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева и в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций

Достоверность результатов работы определяется корректностью поставленных задач, использованием апробированных методов и методик исследования, применяемых в современном физическом материаловедении, большим объемом экспериментальных данных, их сопоставлением между собой и с результатами, полученными другими исследователями.

Результаты работы докладывались и обсуждались на различных всероссийских и международных конференциях и семинарах. Основное содержание работы представлено в 15 публикациях, в том числе 1 статья в ведущем рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК РФ, 5 статьях в изданиях, входящих в перечень Scopus и Web of Science.

Соответствие содержания диссертации специальности

Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту специальности 2.6.1. **Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)**, п. 2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование и п. 4. Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий на изменение структуры и свойств металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат диссертации полностью и правильно отражает содержание диссертации, её основные положения и выводы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты, полученные в диссертации, могут использоваться в образовательной и научной деятельности Сибирского государственного индустриального университета, Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева, Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, Институте металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН и других научных и образовательных организациях, занимающихся разработкой аддитивных технологий. В практических целях данные по эволюции микроструктуры и механических свойств различных участков аддитивно изготовленного Al-Mg сплава после электронно-пучковой обработки

использованы для повышения фрикционных свойств и износостойкости деталей автомобилей.

Результаты работы, связанные с обработкой изделий, изготовленных с использованием проволочно-дугового аддитивного производства, рекомендованы к использованию на предприятиях, производящих изделий по данной технологии.

Замечания и вопросы

1. Не указано стандартное отклонение, полученное при измерениях (пример пп. 3.4.2). Это затрудняет оценку результатов.

2. Автор многократно приводит параметры электронно-пучковой обработки (пп 2.2.2), однако не указывает точность самого прибора «СОЛО». Эта информация важна для воспроизведения полученных результатов.

3. В работе используется термин «дезориентация». Автор выделяет этот термин специально, указывая на особенности строения материалов?

4. Не понятно, почему на рисунке 3.8 отдельно указываются фаза чистого алюминия (Al) и Al-Mg, при этом используется один символ в разных цветах. И каким образом определялось, что в области А – Al, а в В – Al-Mg?

5. Для фазы Al_3Mg_2 на рентгенограммах нет отдельных пиков, а только совпадающие с Al (Al-Mg). Как было определено, что она присутствует? Не понятно, какой фазе соответствуют не обозначенные символами пики.

6. На рисунке 3.9 приведено распределение элементов по площади (рис. 3.9 в) для второй фазы, присутствующей в сплаве после аддитивной технологии получения материала. На распределении присутствует медь, при этом в результатах точечного химического анализа (таблица 3.2) медь не зафиксирована. В таблице 3.2 приведены данные по хрому, но в химическом составе исходных материалах (таблица 2.1) на присутствие хрома не указывается.

7. В работе присутствуют несогласованные предложения.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, выносимых соискателем на защиту.


Заключение

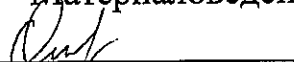
Диссертационная работа Гэн Яньфэй «Особенности формирования структуры и свойств при электронно-пучковой обработке Al-Mg сплава, полученного проволочно-дуговым аддитивным способом» является законченным научным исследованием, в котором содержится решение задачи комплексного исследования эволюции структуры и свойств Al-Mg сплава, изготовленного методами аддитивного производства после электронно-пучковой обработки,

имеющей важное значение для металловедения и термической обработки металлов и сплавов.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что данная работа по актуальности и объему исследований, новизне полученных результатов и их достоверности, а также практической значимости, соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а её автор, Гэн Яньфэй, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры материаловедения в машиностроении федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», протокол № 6 от 02.06.2022 г.

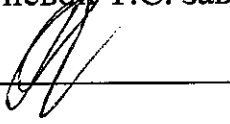
Председатель семинара, заведующий кафедрой материаловедения в машиностроении федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», д.т.н. (специальность 05.02.01 - Материаловедение (в машиностроении)), профессор Батаев Владимир Андреевич 

Ученый секретарь кафедры материаловедения в машиностроении, к.т.н. (специальность 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении)), доцент Огнева Татьяна Сергеевна 

Дата подписания отзыва «02» июня 2022 г.

«Подписи Батаева В.А. и Огневой Т.С. заверяю»

начальник ЦСН НГТУ

 Пустовалова О.К.

МП



Служебный адрес: 630073, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», тел. 7 (383) 346 08 43, E-mail: rector@nstu.ru, официальный сайт организации www.nstu.ru