

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Термически неупрочняемые алюминиевые сплавы на базе системы Al-Mg (магналии) уже много десятилетий широко используются для изготовления конструкций ответственного назначения (в частности, в авиации). Из магналиев изготавливают различные полуфабрикаты (листы, прутки, проволоку и др.), из которых получают детали широкого назначения.

В последнее время при изготовлении крупных металлических компонентов находит применение проволочно-дуговое аддитивное производство (wirearc additive manufacturing – WAAM). Это обусловлено сравнительно низкой стоимости сварочного комплекса и малыми материальными затратами на проволоку по сравнению с порошком, используемым при изготовлении изделий методом селективного лазерного сплавления

Диссертационная работа Гэн Яньфэй является комплексным исследованием с целью изучения механизмов модификации поверхности Al-Mg сплавов, полученным методом WAAM, с помощью электронно-пучковой обработки. Научный и практический интерес представляет возможность придания поверхности аддитивно изготовленных деталей достаточных для технического применения механических свойств. В связи с чем диссертация Гэн Яньфэй, посвященная исследованию метода обработки аддитивно изготовленных деталей из сплава Al-Mg, является **актуальной** и современной.

Диссертационная работа изложена на 129 страницах машинописного текста, включая 47 рисунков и 10 таблиц. Она содержит введение, пять глав, общие выводы по работе, список цитируемой литературы из 133 источников.

Следует отметить **комплексность** подхода соискателя к решению поставленных задач. В работе не только произведено подробное исследование эволюции структуры и свойств Al-Mg сплава при электронно-пучковой обработке, но и приведено теоретическое обоснование выбора параметров обработки. В процессе исследования с использованием современного аналитического оборудования были изучены: фазовый состав, микроструктура, включая тонкую структуру, а также механические свойства. В работе приведено теоретическое обоснование изменения механических свойств образцов из Al-Mg сплава.

В работе получены важные и интересные **научные результаты**. Наиболее значительным из них является выявление и объяснение закономерности влияния электронно-пучковой обработки на микротвердость и износостойкость полученного аддитивным способом сплава. Выявлено, что помимо увеличения плотности дислокаций в поверхностном слое, некоторые режимы обработки приводят к уменьшению содержания включений, являющихся концентраторами напряжений (правда они переходят в зону термического влияния).

Подробно исследованы структура и фазовый состав аддитивно изготовленных Al-Mg сплава. Полученные экспериментальные данные дополняют представления о формировании структуры при проволочно-дуговом аддитивном производстве. Ясно показано влияние электронно-пучковой обработки на структуру поверхностного слоя, особенно в режиме плавления.

Гэн Яньфэй получен и систематизирован большой объем качественных (характер разрушения) и количественных данных (механические свойства и характеристики структуры поверхности) по эволюции структуры и свойств поверхности при электронно-пучковой обработке.

Практическая ценность работы очевидна. Она заключается не только в публикации экспериментальной базы данных по структуре и свойствам аддитивно изготовленных сплавов, но и в практических рекомендация по электронно-пучковой обработке. Использование полученных в работе данных о режимах обработки изготовленных аддитивным образом деталей позволяет, придать деталям требуемые механические свойства, что расширяет область применения аддитивных технологий производства и приводит к экономическому эффекту. Опытно-промышленное

опробование в условиях «Wenzhou Jinghe Intelligent Manufacturing Technology Co., Ltd» показывает положительный экономический эффект.

Достоверность и надежность полученных результатов и сделанных на их основе выводов не вызывают сомнений. Они обеспечиваются большим объемом экспериментов, современностью используемых методик и оборудования, а также квалифицированным исполнением эксперимента.

По работе имеются следующие замечания:

1. В обзоре литературы следовало бы привести механические свойства марочных магналиев (в частности, типа АМг5/АМг6), получаемых методами фасонного литья и обработки давлением. Это позволило бы провести сравнительный анализ механических свойств экспериментальных образцов, получаемых методом WAAM.
2. В табл.2.1 приведен только марочный химический состав сплава ER 5356, а фактический отсутствует. Прежде всего, это относится к концентрациям примесей железа и кремния, который образуют нерастворимые в алюминиевом твердом растворе фазы. Отсутствие этих данных не позволяет оценить формирование Fe- и Si-содержащих фаз, которые обсуждаются в диссертации (например, на с.53-57)
3. В главе 3 много места уделено обсуждению микроструктуры экспериментальных образцов. Хотелось бы видеть не только анализ зеренной структуры, но и размера дендритной ячейки, поскольку именно последняя связана со скоростью охлаждения в процессе кристаллизации. Это позволило бы оценить неоднородность кристаллизации в разных областях экспериментального образца, полученного методом WAAM.
4. Отсутствуют данные по распределению магния между твердым раствором и фазой Al_3Mg_2 . Идентификация других соединения алюминия и магния (например, $Al_{0,56}Mg_{0,44}$ и $AlMg$ на рис.3.8 и Al_2Mg на с.58) вызывает сомнение.
5. Неясно, как появился в структуре участок, обогащенный хромом и титаном (табл.3.2), поскольку эти элементы согласно табл.2.1. отсутствуют в составе сплава.

6. Марочные сплавы типа АМг5/АМг6 обычно подвергают термообработке, в частности литейные сплавы (АМг6л) закалке (Т4), поскольку именно в этом состоянии достигаются максимальные механические свойства. В связи с этим структуру и свойства экспериментальных образцов также следовало бы изучить после аналогичной термообработки.
7. В работе показано, что электронно-пучковая обработка позволяет повысить износостойкость и снизить коэффициент трения. В связи с этим напрашивается сравнение с известными методами поверхностной обработки (например нанесение покрытий методом плазменно-электролитического оксидирования.).

Высказанные замечания не затрагивают основные положения и выводы и не снижают научной и практической ценности диссертации.

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 проведено комплексное исследование эволюции структуры и свойств Al-Mg сплава, изготовленного методами аддитивного производства после электронно-пучковой обработки, имеющей важное значение для развития металловедения и термической обработки металлов и сплавов.

Содержание и тема диссертации соответствуют специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Основное содержание работы публиковалось в 15 публикациях, в том числе в ведущих рецензируемых научных журналах 1 статья в журнале рекомендованном ВАК РФ, 5 статьях в изданиях входящих в перечень Scopus и Web of Science. Результаты доложены на многочисленных конференциях

Содержание автореферата соответствует основному содержанию диссертации и отражает ее положения и выводы.

Диссертационная работа «Особенности формирования структуры и свойств при электронно-пучковой обработке Al-Mg сплава, полученного проволочно-

дуговым аддитивным способом» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждения ученых степеней, 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.

На обработку персональных данных согласен.

Официальный оппонент,
Главный научный сотрудник кафедры
обработки металлов давлением
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС»,
доктор технических наук, профессор

Белов

Николай Александрович

«31» мая 2022 г.

Научная специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»;

Почтовый адрес: 119049 Москва, Ленинский пр-т, д.4, каб. Г141;

Тел.: +7-910-476-5857;

E-mail: nikolay-belov@yandex.ru

Подпись Белова Николая Александровича удостоверяю

Отдел кадров

Проректор

И.М. ИСАЕВ

