

ОТЗЫВ

официального оппонента Сизовой Ольги Владимировны на диссертационную работу Ван Яньху «Развитие технологических основ термической обработки заготовок из сплавов системы Cu-Al, полученных методом проволочно-дугового аддитивного производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических по специальности **2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.**

Актуальность темы диссертации

Сплавы системы Cu-Al широко используются в машиностроении в качестве материалов для изделий, эксплуатируемых в условиях трения и коррозии. Существующие в настоящее время способы получения данных материалов, таких как вакуумная плавка, методы порошковой металлургии, плавка в дуговой печи, эффективны только для относительно малогабаритных деталей вследствие разбрызгивания жидкого металла и невозможности обеспечить высокое качество отливки. В настоящее время активно ведется поиск технологий, позволяющих получать объемные изделия методами холодного переноса металла, например, на основе проволочно-дугового производства. Для успешного применения данного способа в промышленном производстве необходимо проведение комплексных исследований структуры и физико-механических свойств таких сплавов, коррозионной стойкости и износостойкости.

В связи с этим тема диссертационной работы Ван Яньху, посвященная выявлению закономерностей формирования микроструктуры и свойств сплавов системы Cu-Al, изготовленных методом проволочно-дугового аддитивного производства, является **актуальной.**

Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, выводов, 57 рисунков, 8 таблиц, списка литературы из 132 наименований. Объем диссертации составляет 124 страницы машинописного текста.

Во введении приведена актуальность темы исследования, степень ее разработанности, сформулирована цель и поставлены задачи диссертационного исследования, описаны методология и методы исследования. Обоснованы научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены данные об апробации диссертационной работы.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертации. Особое внимание уделено обоснованию применения аддитивного способа изготовления медно-алюминиевых сплавов и влиянию легирующих элементов на их физико-механические и эксплуатационные свойства. Представлен краткий обзор существующих способов производства сплавов системы Cu-Al. На основании обзора поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе описаны исходные материалы, приведены составы сварочных проволок, использованных для изготовления образцов методом холодного переноса. Описаны методы аддитивной наплавки и определены параметры этого процесса для различных способов сварки. Приведены режимы термической обработки опытных образцов, представлены данные по измерению твердости, оценки макро- и микроструктуры, определен фазовый состав и выполнена идентификация присутствующих фаз. Авторы демонстрируют, что желаемый сплав можно получить при соответствующих параметрах процесса, регулируя скорость подачи проволоки.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований изготовленных по предлагаемой технологии образцов сплава системы Cu-Al в исходном состоянии и после гомогенизирующего отжига. Выполнен металлографический анализ, который выявил в образцах столбчатую зеренную структуру, описаны особенности роста зерен в зависимости от реализации процесса осаждения расплавленного металла. Выявлено влияние термической обработки (гомогенизации) на содержание

интерметаллидов CuAl_2 и Cu_9Al_4 . Исследованы механические свойства полученных сплавов. Показано, что повышение свойств термически обработанного сплава связано с измельчением исходного зерна.

В четвертой главе приведены результаты влияния химического состава на структуру и свойства сплавов Cu-Al-Si с различным содержанием алюминия и кремния, полученных методом проволочно-дугового аддитивного производства. Было показано, что добавление кремния наилучшим образом влияет на однородность структуры сплава и величину временного сопротивления при растяжении и предела текучести.

В пятой главе обсуждаются экспериментальные данные по влиянию термической обработки (гомогенизации) на структуру и свойства сплава Cu-Al-Si-Mg, полученного методом аддитивной технологии. Проведено качественное сравнение структуры сплава в различных объемах полученной заготовки. Показано, что неоднородное распределение кремния обуславливает образование вытянутых по форме частиц в центральной и нижней части, направление роста которых совпадает с направлением движения проволоки. При этом было обнаружено, что термическая обработка способствовала некоторому увеличению твердости и предела прочности сплава за счет выделения частиц второй фазы при гомогенизации.

В шестой главе представлены результаты практического применения результатов диссертационного исследования. В 7 приложениях приведены акты соответствующих испытаний, свидетельствующие о перспективности применения технологии аддитивного производства на предприятиях КНР.

В разделе заключение сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обусловлена значительным объемом экспериментальных данных, использованием современного аналитического оборудования. Полученные в диссертационной работе результаты

опубликованы в профильных научных журналах, согласуются с данными, полученными другими авторами и не противоречат известным научным фактам.

Достоверность диссертационной работы обеспечена представлением и обсуждением результатов исследования на международных научных конференциях. По результатам работы опубликовано в 14 печатных работах, их них в базах данных Scopus и Web of Science - 7 работ, получен 1 патент РФ.

Научная новизна исследования заключается:

1. в наличии результатов о структуре сплавов системы Cu-Al и закономерностях ее формирования в процессе проволочно-дугового аддитивного производства. с использованием системы двойной подачи проволоки.
2. обосновании и реализации нового подхода к изготовлению объемного материала за счет регулирования скорости подачи проволоки.
3. впервые полученных экспериментальных данных, выявляющих особенности распределения легирующих элементов в сплавах системы Cu-Al при послойном осаждении в процессе проволочно-дугового аддитивного производства.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в выявлении закономерностей, механизмов трансформации структурно-фазового состояния в различных условиях термомеханической и термической обработки.

Практическая значимость результатов исследования обусловлена возможностью их использования при разработке новых способов получения сплавов на основе меди. В частности, полученные в работе результаты послужили основой для патентования метода повышения термической стабильности Cu-Al- сплавов (патент РФ №202101495).

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания

1. При анализе особенностей и закономерностей трансформации структуры Cu-Al сплава в процессе проволочно-дугового производства повышение прочности и твердости сплава объясняется измельчением исходного зерна, в то же время данные сравнительного анализа зеренной структуры не приводятся.
2. Не анализируются механизмы формирования частиц второй фазы в процессе термических обработок, направленных на гомогенизацию структуры сплава. В тексте диссертации не приведен подробный режим термической обработки.
3. В работе практически нет ссылок на русскоязычные публикации по получению материалов передовыми аддитивными технологиями.

Заключение

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку выполненной диссертационной работы, ее цельность, законченность и логическую связность. По объему полученных результатов, новизне, научной и практической значимости диссертационная работа Ван Янху «Развитие технологических основ термической обработки заготовок из сплавов системы Cu-Al, полученных методом проволочно-дугового аддитивного производства», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложено комплексное решение задачи разработки перспективного метода получения объемных металлических изделий с высокими прочностными свойствами.

По целям, задачам, методам исследования, содержанию и новизне полученных результатов и их научной значимости диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 29.09.2013 г. (в редакции от

11.09.2021 г.), а ее автор Ван Янху заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

доктор технических наук

(специальность 05.16.01) –

Металловедение и термическая обработка

металлов и сплавов, профессор,

главный научный сотрудник лаборатории

физики упрочнения поверхности

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Сибирского отделения РАН

Института физики прочности и

материаловедения

Сизова Ольга Владимировна

Россия, 634055, Томск, пр. Академический 2/4

Телефон 8-913-815-22-52

Email: ovs@ispms.ru «20» мая 2022 года.

Подпись О.В. Сизовой удостоверяю:

Ученый секретарь ИФПМ СО РАН

кандидат физико-математических наук



Матолыгина Наталья Юрьевна.