

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54, тел.: (4212) 32-79-27, e-mail: adm@khfrc.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Хабаровского Федерального
исследовательского центра
Дальневосточного отделения Российской
академии наук, чл.-корр. РАН



И.Ю. Рассказов

31» января 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Славинской Надежды Александровны

«Влияние модификаторов на структурообразование, ликвационные процессы и свойства сплава АМ4,5Кд (ВАЛ10)» в литом и термообработанных состояниях, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 - Литейное производство

Актуальность диссертационной работы

Развитие промышленного комплекса в современных условиях обуславливает необходимость производства новых машин и оборудования, обладающих существенными конкурентными преимуществами, достижение которых возможно разработкой новых или усовершенствованных материалов с оптимальным комплексом свойств, а также способов их обработки, способных снизить металлоемкость и габариты устройств, повысить их надежность и долговечность, сократить себестоимость и издержки производства. Вышеуказанное касается и сплавов алюминия, характеризующихся низкой плотностью, коррозионной стойкостью, легкостью получения литых и деформируемых заготовок, определяющих их востребованность во многих отраслях промышленности и соответственно приводящих к мировому росту объемов его потребления. Интерес к данным материалам дополнительно подогревается тем, что некоторые алюминиевые сплавы после проведения специальных методов обработки способны конкурировать по прочностным

характеристикам со сплавами на основе железа. Они являются сырьем для производства изделий, успешно применяемых в авиастроении, кораблестроении, энергетике, строительстве и других ответственных отраслях промышленности. Оптимизация сочетания классических свойств алюминия с повышенной прочностью в традиционно применяемых сплавах является актуальным направлением исследований и достигается за счёт технологий их обработки на всех этапах получения заготовок, в том числе на операциях их выплавки.

Представленная диссертационная работа посвящена решению важной научно-практической проблемы, связанной с управлением свойствами алюминиевых сплавов системы Al-Cu путем их модифицирования переходным (Zr), редкоземельными (Ce, La, Sc) и иными (Sr) металлами на стадии выплавки, а также применения последующих операций обработки в виде закалки, естественного и искусственного старения на примере сплава AM4,5Кд. Влияние Ce, La, Sc, Sr, Zr на структурообразование, фазовый состав, ликвационные процессы и механические свойства экспериментальных сплавов в литературных источниках не нашло широкого освещения, что несомненно определяет актуальность проводимых автором теоретических и экспериментальных исследований как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах.

Дополнительно актуальность проводимых исследований и получаемых востребованных научно-практических результатов подтверждается выполнением НИР в рамках государственного задания №11.3014.2017/ПЧ «Исследование возможности получения РЗМ-Ni-содержащих лигатур для модифицирования металлических сплавов», финансируемых Министерством образования и науки Российской Федерации.

Научная новизна, достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа Славинской Н.А. содержит ряд новых научных знаний и положений, пополняющих представления в соответствующих предметных областях, в том числе материаловедении, металлургии и т.д., имеющие для них важное фундаментальное значение.

Автором определены и научно обоснованы закономерности изменения структуры, характера распределения элементов, микротвердости структурных составляющих (α -твердого раствора, эвтектики и алюминидов металлов (Ce, La, Sc, Sr, Zr)) и твердости сплава AM4,5Кд от величины добавки модификаторов в литом состоянии, закономерности изменения фазового состава и микротвердости структурных составляющих (α -твердого раствора, эвтектики и алюминидов Cu и Ti) и твердости модифицированных церием и лантаном сплавов AM4,5Кд от температуры закалки после естественного и искусственного старения, а также идентифицированы структурные составляющие в лигатурных сплавах Al-Sc, Al-Sr, и Al-Zr и определены их микро и нанотвердость:

- методами оптической и электронной микроскопии, а также микрорентгеноспектрального элементного анализа установлены:

а) особенности формирования алюминидов церия, лантана, скандия, стронция и циркония, определяющие формирование структурных составляющих сплава АМ4,5Кд, при этом выявлен эффект их измельчения с увеличением добавки церия и лантана (до 0,1 мас. % Ce и 0,15 мас. % La) и до 0,15 мас. % Sc, Sr, Zr;

б) закономерности изменения растворимости элементов в структурных составляющих сплава АМ4,5Кд (α -твердого раствора и эвтектики разного состава и различного происхождения) от величины добавки модификаторов;

в) зависимости формирования структурных составляющих модифицированных церием (0,2 мас. %) и лантаном (0,2 мас. %) сплавов АМ4,5Кд от температуры закалки (535, 545, 565, 585 и 605 °С) после естественного и искусственного ($t=155$ °С, время выдержки 4 часа) старения;

г) структурные составляющие в лигатурных сплавах Al-Sc, Al-Sr, и Al-Zr.

- методами исследования механических свойств материалов, определены:

а) закономерности изменения твердости сплава АМ4,5Кд и микротвердости кристаллов α -твердого раствора, эвтектики и алюминидов металлов от величины добавок модификаторов;

б) зависимости изменения микротвердости структурных составляющих (α -твердого раствора, эвтектики и алюминидов Cu и Ti) и твердости модифицированных церием (0,2 мас. %) и лантаном (0,2 мас. %) сплавов АМ4,5Кд от температуры закалки (535, 545, 565, 585 и 605 °С) после естественного и искусственного ($t=155$ °С, время выдержки 4 часа) старения;

в) микро и нанотвердость структурных составляющих, присутствующих в лигатурных сплавах Al-Sc, Al-Sr, и Al-Zr.

Результаты практической части диссертационной работы Славинской Н.А. носят, безусловно, достоверный характер, определяемый использованием современного высокоточного аналитического и испытательного оборудования, известных широко применяемых методов исследований и средств измерений, значительным объемом полученных экспериментальных данных. В исследовательской работе изложены обоснованные выводы и положения с точки зрения общепризнанных на сегодняшний день научных представлений, классических постулатов и законов теории материаловедения, металлургии и других смежных наук. Представленные автором в диссертации результаты, согласуются с результатами, ряда ранее проводимых научно-исследовательских работ в данном направлении.

Итоги диссертационной работы освещены в 9 (девяти) публикациях, в том числе в 3 (трех) статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и в 2 (двух) статьях, индексируемых в международной базе данных Scopus.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы усматривается в развитии способов эффективного управления структурой и свойствами традиционно применяемых алюминиевых сплавов, способных повысить значения приоритетных показателей до требуемого уровня путем введения на стадии выплавки небольшого количества модификаторов в виде редкоземельных и переходных металлов, таких как Ce, La, Sc, Sr, Zr с последующей, при необходимости, термической обработкой, включающей операции закалки и естественного или искусственного старения материалов на примере сплава АМ4,5Кд.

Совершенствование характеристик сплавов системы Al-Cu позволит расширить область их применения, в том числе увеличить долю изготовленных из них изделий, работающих в условиях значительных нагрузок, увеличить надежность изготавливаемых машин и механизмов, а также сократить металлоемкость производства, что может задать новый вектор развития для отрасли машиностроения. Существенное повышение свойств исследуемых сплавов при незначительном использовании модификаторов и уменьшении металлоемкости изделий способствует получению значительного экономического эффекта за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции и сокращения времени его производства, что определяет повышение ее конкурентоспособности, как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Рекомендации по практическому использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы, несомненно, применимы в условиях широкого ряда предприятий машиностроения, для выпуска жаропрочных и коррозионностойких изделий с пониженной металлоемкостью и с повышенными механическими свойствами, определяющими долговечность и надежность производимых машин, в отраслях, например самолетостроения, кораблестроения и др., где одним из важнейших условий допуска детали к работе является отношение небольшой массы к ее прочностным и эксплуатационным характеристикам.

Итоги диссертационной работы, имеющие высокую научно-практическую значимость, нашли свое приложение в образовательном и научно-исследовательском процессах, реализуемых в Высшей школе промышленной инженерии ФГБОУ ВО «ТОГУ» (г. Хабаровск) и используются при освоении обучающимися курса «Производство отливок из цветных сплавов».

Автором, совместно с коллегами, предложено применение результатов исследований на предприятии ПАО «Арсеньевская Авиационная Компания «ПРОГРЕСС» им. Н.И. Сазыкина» (г. Арсеньев), которому передана итоговая информация по выполненным научно-исследовательским работам для проведения дальнейших промышленных испытаний.

Общая характеристика и анализ работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 208 страниц, в том числе 101 рисунок, 8 таблиц. Список литературы состоит из 91 наименования отечественных и зарубежных источников.

Во введении аргументирована актуальность работы, определены цель и задачи исследований, сформулированы научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту. Обозначена информация об апробации результатов работы, их достоверности, публикациях, структуре и объеме работы, применяемых методах исследований и степени разработанности темы исследований.

В первой главе рассмотрены типы применяемых сплавов 3-й группы системы Al-Cu, приведены механизмы образования в них структур, обозначены основные методы управления структурой и свойствами, сосредоточено внимание на особенностях формирования физико-механических и эксплуатационных характеристик алюминиевого сплава АМ4,5Кд. Отмечены, положительные и отрицательные стороны данного материала. К числу положительных характеристик отнесены повышенная прочность и жаропрочность до температур функционирования 300 °С, отрицательные характеристики заключаются в пониженной жидкотекучести, склонности к трещинам и пористости, высоком уровне ликвации. Обозначено, что сплав АМ4,5Кд является перспективным материалом для машиностроительного комплекса, который может быть использован для получения точных и сложных деталей с минимальными трудозатратами.

В работе показано, что наиболее перспективным методом упрочнения алюминиевых сплавов, является применение микродобавок редкоземельных (Ce, La, Sc) и переходных (Sr, Zr) металлов путем введения их в расплав на стадии выплавки. Приведен анализ влияния легирующих компонентов редкоземельных (Ce, La, Sc) и переходных (Sr, Zr) металлов на структурообразование, ликвационные процессы, физико-механические и эксплуатационные свойства на алюминиевые сплавы систем Al-Cu и Al-Si. Анализом термоупрочняемых алюминиевых сплавов определено, что дальнейшее управление свойствами исследуемого материала возможно применением термической обработки включающей операции закалки и старения, способствующих улучшению комплекса характеристик.

Отмечается, что широкому распространению указанного выше способа обработки на производстве, препятствует недостаточная изученность вопроса модифицирования алюминиевых сплавов системы Al-Cu элементами Ce, La, Sc, Sr, Zr, в части их влияния на формирование структурных составляющих, ликвационные процессы, физико-механические и эксплуатационные свойства сплава АМ4,5Кд.

Во второй главе описаны методики проведения экспериментов, приведено применяемое в работе испытательное, аналитическое и технологическое оборудование, используемые материалы.

Третья глава отражает результаты экспериментальных исследований, связанных с изучением закономерностей влияния вводимого количества модификаторов (Ce, La, Sc, Sr, Zr) при выплавке сплава АМ4,5Кд на структурообразование, растворимость в образующихся фазах легирующих и других примесных элементов, изменение твердости исследуемого материала и микротвердости его структурных составляющих. Установлено, что все применяемые легирующие компоненты способствуют измельчению структурных составляющих в сплаве. Сделан ряд выводов, определяющий механизмы формирования структур и характеристик экспериментальных материалов. Исследованы структурные составы лигатур Al-Sc, Al-Sr, Al-Zr и определены их микро и нанотвердость.

Четвертая глава содержит результаты анализа структурообразования, ликвационных процессов, твердости исследуемых экспериментальных сплавов и микротвердости их структурных составляющих, полученных на основе алюминиевого сплава АМ4,5Кд модифицированного церием и лантаном, в количестве 0,2 мас.% с последующей их термической обработкой включающей операции закалки, в диапазоне температур 535-605 °С, и естественного старения. Отмечается, что вне зависимости от присутствия или отсутствия выше указанных модификаторов в сплаве наблюдаются два типа α -твердых растворов, при этом определено, что при введении церия чаще всего кристаллизуются алюминиды титана $Al_xTi_yCe_zCu_wCd_v$ и алюминиды меди $Al_xCu_yMn_zCd_v$, а при добавлении лантана кристаллизуются алюминиды титана $Al_xTi_yCu_zLa_vCd_w$ и алюминиды марганца $Al_xMn_yCu_zFe_v$, во всем применяемом диапазоне температур закалки. Образующиеся интерметаллидные включения обладают шаровидной формой. Установлено, что основной причиной повышения твердости сплава АМ4,5Кд содержащего Ce и La является увеличение микротвердости его структурных составляющих.

Пятая глава освещает исследования формирующихся структур, растворимости присутствующих элементов в образующихся фазах, твердости исследуемых экспериментальных сплавов и микротвердости их структурных составляющих, в основе которых находится алюминиевый сплав АМ4,5Кд модифицированный церием и лантаном, в количестве 0,2 мас.%, с последующей их термической обработкой включающей операции закалки, в диапазоне температур 535-605 °С, и искусственного старения заключающегося в выдержке образцов в течение 4 часов при температуре 155 °С. Установлено, что при выше указанном способе обработки в сплаве наблюдаются два типа α -твердых растворов с разным химическим составом. Определены алюминиды чаще всего встречающиеся в исследуемых материалах при используемых режимах обработки, введение церия обеспечивает формирование – $Al_xTi_yCe_zCd_vCu_w$ и $Al_xCu_yMn_zCd_v$, а

добавление лантана – $Al_xTi_yLa_zCu_vCd_w$ и $Al_xCu_yMn_zCd_v$. Выявлены оптимальные температурный диапазон закалки (535-545 °С) экспериментальных сплавов, с последующим их искусственным старением способствующие повышению их твердости и микротвердости структурных составляющих.

Подтверждение опубликования основных положений, результатов, выводов и заключений диссертации

Результаты диссертационной работы в необходимом объеме представлены в 9 печатных работах, из которых 3 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и 2 в международной базе данных Scopus. Основные итоги проводимых исследований, представленные в материале, докладывались и обсуждались на различных уровнях международных и всероссийских научно-технических конференциях и симпозиумах.

Личный вклад

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии при определении научной проблемы, разработке концепции диссертационной работы и общего плана, постановке задач исследований. Автором всесторонне сформирован экспериментальный блок, получены, проанализированы, обобщены, интерпретированы результаты, подготовлены материалы для опубликования печатных работ и участия в различных мероприятиях.

Диссертация сформирована автором в соответствии с требованиями действующих нормативных актов; структура логична и последовательна, материал изложен грамотным техническим языком. Содержание автореферата не искажает суть диссертационной работы, отражая ее наиболее значимые аспекты и обязательные положения.

Замечания по диссертации

1. Во введении автором указывается, что «Перспективность применения алюминиевых сплавов в энергетике, транспорте, строительстве и других отраслях техники требует создания высокопрочной структуры, которая может быть достигнута кристаллизацией дисперсных частиц интерметаллидных соединений путем модифицирования и микролегирования алюминиевых сплавов переходными металлами – Ni, Zr, Sc, Sr и РЗМ (Ce, La, Y, Pr и др.) и элементами ПА группы периодической системы Д. И. Менделеева (Ca, Mg, Ba и др.)» при этом скандий согласно ГОСТ Р70815-2023 относится к редкоземельным металлам, а стронций является элементами ПА группы.

2. Во вторую главу «Методики исследований» не вынесены режимы термической обработки, а также естественного и искусственного старения. Не ясно, каким образом охлаждались образцы после искусственного старения с выдержкой в печи 4 часа при температуре 155 °С.

3. В главе «Методики исследований» приводится методика определения твердости по Бринеллю, однако не указывается прибор, с помощью которого осуществляется контролируемое по усилию нагружение и формирование отпечатка шарикового индентора.

4. В «Оглавлении» на странице 4 присутствует опечатка в слове «естественном», также опечатка обнаружена на рисунке 5.29 в наименовании графика.

5. Рисунки 3.23, 3.31, 3.37 в тексте диссертации имеют неверные подписи, так как помимо микротвердости структурных составляющих они показывают твердость сплавов, при этом в автореферате наименование соответствующих рисунков полноценно отражают их суть.

6. Диссертационная работа содержит массу фотографий структур исследуемых материалов, различные диаграммы, графики. При этом совершенно отсутствует фотоматериал по технологической части: исходным материалам, применяемому оборудованию и оснастке, образцам. Более того, представляется, исходя из введения, что конечным итогом проводимых исследований должны стать сплавы с повышенными прочностными характеристиками, однако в работе получены только литые образцы сплавов, но не получены опытные отливки, не исследованы их свойства. Как пожелание для автора, можно было бы приобщить указанный выше материал.

Заключение

Диссертационная работа Славинской Надежды Александровны содержит решение актуальной научной задачи, связанной с возможностью управления характеристиками алюминиевых сплавов, в частности системы Al-Cu посредством их модифицирования переходными редкоземельными и иными металлами, такими как Sr, Zr, Ce, La, Sc на стадии выплавки, а также применения последующих операций обработки в виде закалки, естественного или искусственного старения, способствующих образованию в сплавах разнообразных интерметаллидных фаз, армирующих металлическую основу и обеспечивающих дисперсионное упрочнение исследуемых материалов.

Результаты диссертации в виде сформулированных выводов, установленных закономерностей и выработанных рекомендаций, полученные в результате анализа теоретических и экспериментальных данных, научно обоснованы, подтверждаются действующими теориями и гипотезами в соответствующих областях знаний, пополняют их новыми сведениями и имеют важное научно-практическое значение. Итоги представленной работы отражены в 9 публикациях автора.

Замечания по диссертации, отмеченные ранее, не несут в себе указания на ложные представления, противопоставление общепризнанным постулатам и некорректность анализа полученных результатов, их можно оценить, как несущественные, не снижающие научно-практическую ценность, и не ставящие

под сомнение актуальность, обоснованность и достоверность результатов исследований.

На основании выше изложенной информации диссертация представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также паспорту специальности 2.6.3, а ее автор, Славинская Надежда Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 - Литейное производство.

Отзыв обсужден и утвержден на семинаре научных работников Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий 30 января 2025г., протокол № 1.

Отзыв составлен директором Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), кандидатом технических наук, доцентом Комаровым Олегом Николаевичем.

Директор Института
машиноведения и металлургии Дальневосточного
отделения Российской академии наук –
обособленного подразделения Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Хабаровского Федерального исследовательского
центра Дальневосточного отделения Российской
академии наук, канд. техн. наук, доцент

 О.Н. Комаров

681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре,
ул. Металлургов, дом 1,
e-mail: olegnikolaevitsch@rambler.ru

Подпись Комарова О.Н. заверяю

Заместитель начальника
кадрово-правового отдела ХФИЦ ДВО РАН

 Н.В. Волокжанина
Н.В. Волокжанина
21.09.2025