

«Утверждаю»

Зам. директора Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки

Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)
по научной работе,

Д.Т.Н.

В. С. Юсупов

«17» октября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Васиной Марии Анатольевны

«Обоснование фазового состава теплостойких алюминиевых сплавов на основе
системы Al-Ca-Si с улучшенными технологическими свойствами»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертационной работы

Алюминиевые сплавы, созданные во второй половине прошлого века, не вполне могут удовлетворить тем требованиям по комплексу свойств, которые предъявляет современная техника. Широко используемые деформируемые алюминиевые сплавы с добавкой меди сочетают в себе прочность и теплостойкость, но и у них пониженное сопротивление коррозии. Наиболее применяемые литейные сплавы на основе алюминия – силумины – исчерпали возможности по модернизации структуры для улучшения базовых эксплуатационных (механические свойства, пластичность, теплостойкость, коррозионная стойкость) и технологических характеристик (продолжительной операции термической обработки), поэтому разработка прочных и теплостойких алюминиевых сплавов, способных заменить силумины в различных отраслях промышленности, является актуальной темой.

Недавние исследования показывают, что перспективным подходом к разработке новых алюминиевых сплавов является переход к новым системам легирования, в частности, применение малорастворимых в алюминии добавок, таких как кальций, никель и редкоземельные металлы. Эти добавки образуют с алюминием диаграмму

эвтектического типа. Особенно перспективным является использование кальция с точки зрения образуемой с алюминием эвтектической структуры и стоимостных характеристик. Такой подход позволит создать новые алюминиевые сплавы с улучшенными свойствами и использовать простые технологические процессы (плавка, литье) для их производства на стандартном промышленном оборудовании.

Поэтому диссертацию Васиной М. А., посвященную созданию новых перспективных теплостойких алюминиевых сплавов, легированных Ca, Ni, Ce с дополнительными легирующими элементами (Zn, Cr, Zr, Sc, Mn), и получения изделий из них, следует считать весьма актуальной.

Основные результаты работы отражены в 6 публикациях в изданиях, входящих в базы Web of Science, Scopus и перечень журналов, рекомендованных ВАК. Результаты работы представлены и обсуждены на 7 научных конференциях всероссийского и международного уровней.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и основных выводов. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 113 рисунков, 33 таблицы, 2 формулы, список использованных источников из 179 наименований отечественных и зарубежных авторов, 1 приложение.

Во **введении** описана актуальность работы, сформулированы цель и задачи, которые необходимо выполнить для реализации поставленной в исследовании цели. Представлены научная новизна и практическая ценность работы, вклад автора и положения, выносимые на защиту и апробация работы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору литературы по существующим в промышленности теплостойким сплавам на основе алюминия, легирующим элементам, применяемым для повышения теплостойкости, и структурам алюминиевых сплавов для применения в аддитивных технологиях. Обоснован выбор легирующих элементов, в том числе эвтектикообразующих, для повышения прочности и теплостойкости алюминиевых сплавов.

Во **второй главе** описаны материалы и методики исследования структуры и фазового состава, механических, физических и технологических свойств полученных образцов и сплавов. В диссертационной работе применяются современные расчетные и экспериментальные методы, включая термодинамическое моделирование и электронную микроскопию. Приведена методика получения образцов для механических испытаний после лазерной обработки.

В третьей главе представлено исследование фазового состава экспериментальных сплавов с добавками кальция, церия, никеля, цинка в области кристаллизации алюминиевого твердого раствора. Показана взаимная растворимость элементов в системах Al-Ca-Ce, Al-Ca-Ce-Ni и Al-Ca-Ce-Zn. В системе Al-Ca-Ce-Ni подтверждено наличие тройного соединения Al_9Ni_2Ca . По результатам исследования твердости в сплавах системы Al-Ca-Ce установлено, что она больше зависит от доли интерметаллидов, чем от твердости самих интерметаллидов. Определена область перспективных составов для создания новых литейных сплавов. Выбраны сплавы, которые являются перспективными «естественными композитами».

Четвертая глава посвящена исследованию дополнительных легирующих элементов на упрочнение алюминиевого твердого раствора и повышения теплостойкости сплавов. По результатам исследования сплавов системы Al-Ca-Ce определено, что потенциальные литейные композиции, легированные Mn и Zr, во всем интервале температур отжига не демонстрируют эффекта дисперсионного упрочнения, а дополнительно легированные Ni, Sc и Cr, а также деформируемые композиции, легированные Sc и Zr, упрочняются при отжиге. Наибольший упрочняющий эффект, по результатам исследований модельных композиций, был показан при отжиге сплавов с добавками циркония при температурах 400-450°C.

В пятой главе продемонстрировано сравнение исследуемых в диссертационной работе сплавов с некоторыми промышленными силуминами по ряду свойств: жидкотекучести, горячеломкости, плотности, коррозионной стойкости и механическим характеристикам после горячей прокатки и испытаний при повышенной температуре. Предложенные сплавы демонстрируют улучшенный комплекс свойств по сравниваемым параметрам.

В шестой главе показано, что двойные алюминиевые сплавы с добавками 8 %Ca, 10%Ce, 10%La и 6%Ni после воздействия лазером демонстрируют однородное распределение второго компонента в структуре наплавленного слоя. Обоснован наибольший упрочняющий эффект в сплаве Al-8%Ca и продемонстрированы механические свойства всех четырех сплавов до и после модификации лазером.

Диссертационная работа заканчивается выводами и списком использованных источников.

Наиболее важными результатами диссертационной работы, обуславливающими ее научную новизну, являются:

- 1) Установлены закономерности формирования структуры алюмо-кальциевых сплавов, содержащих церий, никель и цинк в качестве основных легирующих элементов, в области алюминиевого угла. Построены предполагаемые схемы поверхности ликвидус в данных сплавах.
- 2) Обоснован выбор области перспективных составов для создания на их основе литейных и деформируемых композиций в сплавах систем Al-Ca-Ce, Al-Ca-Ce-Ni и Al-Ca-Ce-Zn.
- 3) Установлено влияние лазерного воздействия на микроструктуру и механические свойства алюминиевых сплавов эвтектического состава с добавками 8%Ca, 10%Ce, 10%La, 6%Ni.

Практическая значимость результатов работы заключается в определении составов литейных и деформируемых алюминиевых сплавов для применения при повышенных температурах, обеспечивающих улучшенный комплекс свойств по механическим и технологическим характеристикам по сравнению с марочными силуминами. Результаты, полученные в диссертационной работе, использованы в учебном процессе на кафедре «Обработка металлов давлением» НИТУ «МИСИС».

Достоверность результатов, полученных в диссертации Васиной М. А., обеспечивается большим объемом данных, полученных при помощи современного оборудования, и не противоречием экспериментальных результатов современным теоретическим данным. Все научные положения, выводы и заключения, представленные в диссертационной работе, являются обоснованными и достоверными.

Васина М. А. успешно представила результаты диссертационной работы в нашей организации и дала исчерпывающие ответы на все заданные вопросы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Научные результаты, полученные в диссертации, основные положения, выносимые на защиту, могут быть использованы при производстве изделий, работающих при повышенных температурах (теплообменники, детали двигателей внутреннего сгорания), а также в качестве учебного материала в курсах лекций по металловедению и термической обработке металлов и сплавов.

Замечания по диссертационной работе:

- 1) Большая часть работы посвящена анализу фазового состава предложенных композиций алюминиевых сплавов на основе системы Al-Ca. Однако, в работе практически отсутствуют результаты РФА, который в настоящее время является одним из основных методов исследования для аттестации фазового состава сплавов и оценки

влияния содержания различных легирующих элементов. Метод рентгеноспектрального микроанализа, примененный в работе для аттестации фазового состава, является локальным и обладает рядом ограничений, связанных с анализируемым объемом. Интересен вопрос о сопоставимости данных по фазовому составу, полученных на основании теоретических расчетов, электронной сканирующей и просвечивающей микроскопии и данных РФА.

2) В работе автор сравнивает по механическим и технологическим характеристикам полученные сплавы с промышленными силуминами, но не дает сравнения по экономическим показателям.

3) В работе следовало уделить более детальное внимание сплавам с содержанием Zr 0,2 % и более. Если мелкие частицы фазы Al_3Zr , образующиеся при распаде пересыщенного твердого раствора, положительно сказываются на упрочнение алюминиевых сплавов, то в реальных условиях литья такое содержание циркония приведет к выделению крупных первичных интерметаллидов и обеднению твердого раствора.

4) На представленных графиках зависимости растворимости элементов (рис. 3.25), твердости и удельной электропроводности от температуры отжига (рис. 4.6, 4.7, 4.11, 4.13) не указан интервал погрешности измерения.

5) В автореферате имеется ряд опечаток, стилистических, грамматических и пунктуационных ошибок, в том числе:

- на рис. 1 сопоставляются данные для микроструктуры и ДСК-анализа сплавов различного химического состава;
- даны ссылки на рис. 3.20, 3.24 (стр. 15), которые отсутствуют в тексте;
- на рис. 13 указано, что «плотность и равномерность выделения частиц Al_3Zr в обоих сплавах одинакова», при этом на рисунке эта фаза отсутствует;
- на стр. 21 не указана среда, в которой проводились испытания на коррозионную стойкость.

Сделанные замечания не влияют на общее положительное заключение по диссертационной работе.

Заключение

Диссертационная работа Васиной М. А. «Обоснование фазового состава теплостойких алюминиевых сплавов на основе системы Al-Ca-Si с улучшенными технологическими свойствами» является законченной научно-квалификационной

работой, в которой получены новые результаты, имеющие как научную, так и практическую значимость. Она соответствует специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Диссертационная работа написана в хорошем стиле и оформлена в полном соответствии с установленными требованиями. Результаты диссертационной работы, выносимой на защиту, опубликованы в шести статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК и баз данных Web of Science, Scopus, а также доложены на российских и международных научных конференциях и симпозиумах. Автореферат и публикации отражают содержание диссертации.

Диссертация Васиной М. А. соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Васина Мария Анатольевна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Доклад Васиной М. А. был заслушан и обсужден, а настоящий отзыв утвержден на расширенном заседании лаборатории новых металлургических процессов и сплавов ИМЕТ РАН «05» октября 2023 года, протокол заседания № 1.

Ведущий научный сотрудник

Лаборатории новых металлургических процессов

и сплавов ИМЕТ РАН,

доктор технических наук



С. Г. Бочвар

Подпись Бочвара Сергея Георгиевича удостоверяю

Начальник отдела кадров ИМЕТ РАН



Корочкина Галина Александровна

119991, Москва, Ленинский проспект, д.49

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН)

sbochvar@imet.ac.ru – Бочвар Сергей Георгиевич (тел.+7 (499) 135-96-35)