



РУСАЛ

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Акопяна Торгома Кароевича на тему:

«НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И  
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ,  
СОДЕРЖАЩИХ МЕДЬ И КАЛЬЦИЙ»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа Акопяна Т.К. «Научные основы разработки высокопрочных и высокотехнологичных многокомпонентных алюминиевых сплавов, содержащих медь и кальций» представляет большой практический интерес для алюминиевой отрасли. Алюминиевая продукция, полученная с использованием результатов диссертационной работы, потенциально расширяет область гражданского применения алюминиевых сплавов для производства отливок различными способами литья, повышая эффективность производства за счет сокращения цикла термической обработки. Результаты работы усиливают позиции алюминия, по сравнению с другими материалами, например, сталями и чугунами. Разработанные в рамках диссертационной работы алюминиевые сплавы, в частности, на основе системы Al-Si-Cu с добавками олова и индия могут быть произведены на линиях непрерывного литья чушки при размещении соответствующих заказов.

Актуальность работы обусловлена запросом гражданской промышленности в новых алюминиевых сплавах, которые в условиях все возрастающих требований к материалам по уровню эксплуатационных характеристик и себестоимости обеспечивали бы более высокую эффективность в процессе эксплуатации в сравнении с марочными сплавами. Возможность применения легкой и дешевой добавки кальция, а также легкоплавкого олова, присутствующего во вторичном сырье, при достижении высокого сочетания свойств в таких материалах, обеспечивает конкурентоспособность и возможность внедрения в реальный сектор экономики.

Объем диссертации весьма подробно отражает сущность представленного исследования и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским работам, учитывая, что она представлена на 381 странице машинописного текста, включая приложения, и содержит 181 рисунок, 67 таблиц и список литературы из 412 наименований.





Практическая значимость работы подтверждена получением 6 патентов РФ и актами промышленного опробования, что создает основу для последующего промышленного внедрения представленных результатов.

Представленные выводы в полной мере отвечают содержанию диссертационной работе, ее новизне, а также положениям, выносимым на защиту.

Достоверность представленных результатов исследований обеспечивается применением передовых аналитических методов исследований с использованием современного технологического и исследовательского оборудования, а также методов исследований в области современного металловедения. Особо следует отметить примененный уникальный метод атомно-зондовой томографии. Полученные результаты согласуются с литературными данными в тематической области работы.

Из наиболее значимых научно-практических результатов можно отметить следующие:

1. С использованием расчетно-экспериментальных методов изучено влияние малых добавок легкоплавких металлов (Sn, In) на структуру и фазовый состав литейных и деформируемых сплавов на основе базовых систем Al-Cu и Al-Si-Cu в процессе их кристаллизации и последующей термической/термомеханической обработки. С использованием прецизионных методов анализа (СЭМ, ПЭМ, АЗТ) получить количественные данные о влиянии малых добавок (Sn, In) на структуру продуктов старения литейных и деформируемых сплавов на основе систем Al-Cu и Al-Si-Cu, включая данные по химическому и фазовому составу, а также плотности распределения упрочняющих частиц на различных этапах старения. По совокупности полученных данных предложить микромеханизм влияния малых добавок легкоплавких металлов Sn и In на эффект повышенного упрочнения при старении сплавов изученных систем. По результатам проведенных теоретических исследований предложен новый литейный сплав на основе системы Al-Cu-Si (пат. РФ 2754418) и деформируемый сплав на основе системы Al-Cu-Mn, содержащий малую добавку олова (№ регистрации заявки на патент 2024112439), и позволяющие после термообработки получать высокие механические свойства.

2. Установлено влияние эвтектикообразующих элементов, включающих РЗМ (La) и Ni и Ca, на фазовые равновесия в соответствующих многокомпонентных системах, включая построение фазовых диаграмм в области алюминиевого угла с целью установления перспективных фазовых областей для конструирования новых высокотехнологичных естественных алюмо-матричных композиционных материалов. На примере ряда экспериментальных сплавов, полученных в промышленных и лаборантских условиях,





продемонстрирована возможность получения деформированных полуфабрикатов для перспективных кальцийсодержащих сплавов.

3. Установлено строение ранее неизученной тройной Al-Cu-Ca и четверной Al-Cu-Ca-Si систем в области алюминиевого угла. Для новых сплавов на базе системы Al-5%Cu-(0,8-1,4)%Ca-(1,4-1,6)%Si, полученных в виде отливок и деформированных полуфабрикатов, установлена высокая склонность к дисперсионному твердению, не уступающая классическим сплавам на базе систем Al-Cu и Al-Si-Cu. При этом показано, что для достижения заметного упрочнения при старении содержание кремния должно быть, как минимум в 1,1-1,4 раза выше, чем кальция. По результатам проведенных теоретических исследований предложен новый высокопрочный деформируемый сплав на основе системы Al-Cu-Ca, (№ регистрации заявки на патент 2024112437), который позволяет после термообработки получить высокие механические свойства:  $\sigma_B$  на разрыв не менее 430 МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2}$  не менее 290 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) - не менее 10,0 %. Сплав может быть использован при производстве высокопрочных деформированных полуфабрикатов в виде катаных плит и листов, поковок и прессованных прутков.

Автореферат диссертации полноценно отражает содержание и основные результаты, представление в диссертационной работе.

По тексту автореферата имеются следующие замечания, требующие пояснения:

- 1) На странице 24 автореферата указано, что при введении малой добавки легкоплавких элементов концентрация Mn в сплавах типа 2219 может быть также существенно повышена. Однако это утверждение в полной мере не раскрывается, что требует дополнительных пояснений.
- 2) Автору следовало бы привести больше данных, затрагивающих не только влияние легкоплавкой составляющей на упрочнение рассмотренных сплавов, но и то, в какой мере, при переменном содержании основных легирующих элементов, реализовывался бы эффект упрочнения, что в целом представляет интерес.

Несмотря на сделанные замечания считаю, что представленная диссертационная работа по своему теоретическому и экспериментальному уровню, объему, актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученой степени в НИТУ МИСИС», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Акопян Торгом Кароевич заслуживает присуждения ему

ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Начальник отдела технологий производства  
новых видов продукции

АО «Русский Алюминий Менеджмент», к.т.н.

/ А.Н. Алабин

20.05.2025

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

121096, ул. Василисы Кожиной, д. 1, Москва, Россия

Тел (495) 720-51-70 доб.64-99

e-mail: [aleksandr.alabin@rusal.com](mailto:aleksandr.alabin@rusal.com)

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени доктора технических наук Акопяна Торгома Кароевича и их дальнейшую обработку

Подпись Алабина А.Н. заверяю Иванов А.Ю.