

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по
стратегическому развитию,
науке и инновациям

П. В. Скрипникова



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Барыкина Михаила Александровича на тему **«Обоснование состава и структуры заэвтектических алюминиево-кальциевых сплавов типа «естественный композит»**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность диссертационной работы

В последнее время возрастает потребность в новых алюминиевых сплавах для двигателестроения. Существующие на сегодняшний день марочные сплавы на базе системы Al-Si исчерпали свой ресурс по прочности и жаропрочности, они требуют модифицирования структуры при выплавке, поскольку грубые кристаллы первичного и эвтектического кремния заметно снижают их пластичность. В частности, на сегодняшний день из силумина АК18 изготавливают литые и штампованные поршни ДВС. Штампованные изделия имеют более высокие эксплуатационные характеристики и более высокий рабочий ресурс, в сравнении с литыми. Но при этом, данные изделия стоят в 2,5–3 раза дороже литых из-за сложной технологии деформационной обработки, а именно, изостатической штамповки. Создание нового алюминиевого сплава, имеющего высокую технологическую пластичность, при сохранении высоких литейных и механических свойств, позволит упростить и удешевить технологический процесс.

Диссертационная работа Барыкина Михаила Александровича посвящена исследованию фазового состава, структуры и свойств заэвтектических сплавов системы Al-Ca-Mn-(Ni). В ходе работ был разработан и запатентован сплав Al-8Ca-2Mn-1Ni, который обладает литейными свойствами, превосходящими силумин АК18, имеет высокую деформационную пластичность, низкий ТКЛР и может упрочняться без использования операции закалки. Помимо этого, в работе исследована и подтверждена возможность изготовления сплава с применением вторичного сырья. Новый сплав был получен методами центробежного литья слитка в виде кольца диаметром 300 мм и толщиной стенки 40 мм, литья слитка диаметром 13 мм в электромагнитном кристаллизаторе (ЭМК) с дальнейшей экструзией методом Conform в прутки 3,75 мм. Показано, что сплав возможно

применять в современном производстве.

Таким образом, диссертационная работа Барыкина Михаила Александровича обладает высокой актуальностью, как с научной, так и с практической точки зрения, поскольку решает вопросы создания научной базы для дальнейшего исследования заэвтектических алюминиевых сплавов и также вопросы замены существующего марочного сплава на более высокотехнологичный аналог, представленный в работе.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, основных выводов и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 139 страниц. Работа содержит 97 рисунка и 41 таблицу, список цитируемой литературы включает 127 источников. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования и находятся в логическом единстве.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, а обоснована достоверность результатов и представлена информация об апробации работы.

В первой главе автором представлен аналитический обзор литературы, в котором исследуются публикации, предшествующие диссертационной работе. Основное внимание уделено изучению двойных (Al-Ca, Al-Mn, Al-Ni) и тройных (Al-Ca-Mn, Al-Ca-Ni) систем в доэвтектических областях. Выбор этих систем обусловлен наличием в них компактных тройных соединений типа $AlCaX$ (где $X = Mn, Ni$), не ухудшающих технологичность сплавов при горячей прокатке. Кроме того, рассмотрены литературные источники по технологиям изготовления изделий из литейных алюминиевых сплавов и сферам их применения.

Во второй главе автор приводит материалы исследования и описывает методы и методики проведения исследований. В работе применялся расчётный подход (моделирование фазовых диаграмм в Thermo-Calc), технологические методы (плавка, литьё, прокатка, термообработка) и комплекс методов анализа: металлография (РЭМ, оптическая микроскопия), измерение твёрдости по Виккерсу, вихретоковая оценка электропроводности и механические испытания на растяжение.

В третьей главе автором представлены результаты расчетов фазового состава и исследованию структуры заэвтектических сплавов систем Al-Ca-Mn и Al-Ca-Mn-Ni. На основе комплексного изучения сплавов систем Al-Ca-Mn и Al-Ca-Mn-Ni установлено, что введение кальция (8–10%) активизирует образование компактных тройных интерметаллидных фаз ($Al_{11}CaMn_2$, $Al_{10}Mn_2Ca$, Al_9CaNi). Добавка никеля приводит к образованию фазы $Al_9Ca(Ni,Mn)$ и повышает долю интерметаллидов до 45%. Однако при содержании $Ni > 1\%$ появляется охрупчивающая фаза Al_8CaNi_2 , делающая сплавы нетехнологичными. Оптимальный сплав Al-8Ca-2Mn-1Ni, образующий структуру «естественного композита» с мелкодисперсной эвтектикой и равноосными кристаллами $Al_{10}Mn_2Ca$, продемонстрировал высокую технологичность при горячей прокатке и превосходство по прочности ($\sigma_B = 428$ МПа) над силумином АК18, что делает его перспективным материалом.

В четвертой главе представлены результаты исследований фазового

состава и структуры сплавов систем Al-Ca-Mn-Fe-Si и Al-Ca-Mn-Ni-Fe-Si. Установлено, что для системы Al-Ca-Mn оптимальным является сплав с 0.3% Fe, формирующий мелкодисперсные фазы ($\text{Al}_{10}\text{CaFe}_2$) и обеспечивающий хорошую деформируемость (обжатие до 80%). Кремний способствует образованию нежелательных первичных кристаллов Al_6Mn . Для четверной системы Al-Ca-Mn-Ni-Fe-Si показано, что примеси приводят к образованию интерметаллида $\text{Al}_{10}\text{Ca}(\text{Mn,Fe,Ni,Si})_2$, морфологию которого можно уменьшить с помощью медленного охлаждения или литья в подогретую форму, что обеспечивает высокую технологическую пластичность.

В пятой главе автор приводит результаты исследования свойств экспериментального сплава Al-8Ca-2Mn-1Ni. Исследование технологических и эксплуатационных свойств показало, что сплав Al-8Ca-2Mn-1Ni успешно сваривается трением с перемешиванием (СТП) с измельчением интерметаллидов в зоне шва, имеет литейные свойства и коррозионную стойкость, сопоставимые с силумином АК18, а также более низкий коэффициент линейного расширения при высоких температурах. Однако для повышения прочности сварных соединений требуются специальные режимы СТП, а пластичность изделий ограничена из-за наличия неметаллических включений.

В шестой главе исследованы пути упрочнения алюминиевой матрицы в сплаве Al-8Ca-2Mn-1Ni. Установлено, что традиционные легирующие элементы (Zn, Mg, Cu) непригодны, так как они не растворяются в матрице, а преимущественно уходят на образование грубых интерметаллидных фаз, что приводит к росту интервала кристаллизации, огрублению структуры и потере технологичности. В то же время доказана высокая эффективность скандия. Добавка 0.3% Sc обеспечивает прирост твердости ~40 HV за счёт дисперсионного упрочнения при отжиге, с максимумом при 350°C. Оптимальным решением является комбинация 0.2% Sc и 0.1% Zr, которая даёт сопоставимое упрочнение (~35-37 HV) при снижении стоимости. Важно, что упрочнённое состояние сохраняется и после горячей деформации при 450°C.

В седьмой главе продемонстрирована успешная адаптация лабораторных составов сплавов к полупромышленным технологиям. Центробежное литьё сплава Al-8Ca-2Mn-1Ni позволило получить кольцевую отливку с более дисперсной структурой, а последующая горячая прокатка — листы с повышенной на 17% прочностью ($\sigma_{\text{в}}$ до 308 МПа) по сравнению с прокатом из обычных слитков. Литьё сплава Al-8Ca-2Mn-1Ni-0.3Fe-0.3Zr (ЗСК8М2Н1) в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК) обеспечило формирование структуры идеального "естественного композита", а последующее прессование — прутки с высоким комплексом свойств: $\sigma_{\text{в}} = 300$ МПа, $\delta = 6.8\%$, повышенная термостойкость и низкий ТКЛР.

В заключении приведены общие выводы, сделанные по полученным в диссертационной работе результатам.

Научная новизна результатов, изложенных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы Барыкина Михаила Александровича заключена в том, что впервые были обоснованы составы заэвтектических сплавов систем Al-Ca-Mn и Al-Ca-Mn-Ni, которые характеризуются мелкодисперсной и равномерно распределенной структурой при высоком содержании интерметаллидных фаз, а также более высокой

температурой плавления. Также в работе были спрогнозированы строения поверхностей ликвидуса систем Al-Ca-Mn и Al-Ca-Mn-Ni с учетом экспериментальных данных.

Помимо этого, в работе были установлены закономерности влияния режимов литья и деформационной обработки на структуру и свойства заэвтектических алюминиево-кальциевых сплавов. В выбранном диссертантом сплаве формируется благоприятная структура при пониженной скорости охлаждения в процессе литья, а также во время горячей обработки давлением, что повышает пластичность сплава. В работе показано, что малая добавка скандия приводит к дисперсионному твердению сплава в процессе отжига после литья, без использования закалки. При этом максимальное упрочнение достигается при больших температурах в сравнении с доэвтектическими композициями, что указывает на высокую термостабильность.

Степень достоверности результатов исследования

Полученные результаты исследований обладают высокой степенью достоверности, обеспеченной высоким уровнем проведения экспериментов с применением современных методов исследования и комплексным анализом данных. Автор изучил предшествующие работы и применил надежные методики совместно с качественно проведенным анализом данных. Помимо этого, результаты работы были представлены на многочисленных конференциях и отражены в публикациях, входящих в ВАК и Scopus, что говорит о высокой достоверности и значимости полученных результатов за счет их обсуждения и оценивания специалистами.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором работы, заключается в следующем:

Проведённое исследование вносит существенный вклад в фундаментальные основы материаловедения алюминиевых сплавов, впервые комплексно обосновывая и систематизируя принципы создания нового класса заэвтектических алюминиево-кальциевых композиционных материалов с управляемой структурой и свойствами.

Практическая значимость диссертационной работы Барыкина Михаила Александровича заключается в том, что в ходе работы был разработан и запатентован сплав Al-8Ca-2Mn-1Ni предназначенный для получения фасонных отливок и деформированных полуфабрикатов с высокими механическими свойствами и пониженным ТКЛР (патент №2795622). Помимо этого, сплав прошел успешное опробование на предприятии ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» при получении длиномерных литых заготовок методом литья в электромагнитный кристаллизатор и дальнейшей экструзией с использованием установки Conform. Также показана возможность изготовления литых полых изделий методом центробежного литья в ИМЕТ РАН.

Соответствие паспорту научной специальности и отрасли наук:

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» (отрасли науки технические) по п. 1. – «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами

диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов»; п. 2. – «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование».

Рекомендации по использованию результатов исследования:

Результаты диссертационной работы Барыкина Михаила Александровича имеют высокий потенциал применения в производстве цилиндропоршневой группы ДВС для различных видов техники. В частности, составы сплавов и режимы термдеформационной обработки могут быть востребованы на предприятиях АО РУСАЛ и АО «Самарский металлургический комбинат».

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе показаны прочностные характеристики исследуемых сплавов после горячей прокатки, но нет результатов механических испытаний сплава в литом состоянии. Зачем для литых сплавов была применена обработка давлением?

2. Термический коэффициент линейного расширения исследован на образцах в литом состоянии, в деформированном состоянии ТКЛР не исследован. При этом неоднородность структуры при литье может привести к существенному разбросу значений ТКЛР. Необходимо привести значения погрешностей измерения для оценки величины ТКЛР и ее изменения.

3. В работе были рассмотрены сплавы, дополнительно легированные никелем в количестве от 1 до 4%. Исходя из каких соображений, были выбраны такие концентрации, был ли проведен расчет данных или подбор шел только экспериментальным путем?

4. В работе говорится о повышенной жаропрочности экспериментальных сплавов, при этом экспериментальные данные исследования по испытаниям на ползучесть или на долговременную прочность не приводятся.

5. В работе встречаются стилистические ошибки и опечатки.

Указанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку диссертационной работы Барыкина М.А.

Заключение

Диссертация логично построена, структура и содержание соответствует цели и задачам исследования. Результаты работы опубликованы в 10 научных работах из списка ВАК и Scopus. Помимо этого, работа прошла апробацию на международных и российских конференциях. В целом диссертация Барыкина Михаила Александровича является завершенной научной работой, в которой на основании выполненных автором исследований и их обоснования получены новые научные и практические результаты, разработан и запатентован новый заэвтектический алюминиево-кальциевый сплав. Поставленные в работе цели и задачи полностью достигнуты, а основные результаты отражены в выводах.

Работа изложена доступным научным языком. Все результаты работы получены либо автором лично, либо при его непосредственном участии.

По актуальности и объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Барыкина Михаила Александровича «Обоснование состава и структуры заэвтектических алюминиево-кальциевых сплавов типа «Естественный композит»» соответствует критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», а её автор, Барыкин Михаил Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация соискателя и отзыв на нее были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» 19 января 2026 г. (протокол № 7). Результаты голосования: «За» — 15 чел., «Против» — нет, «Воздержались» — нет.

Я, Федосеева Александра Эдуардовна, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Отзыв подготовила:

Профессор кафедры материаловедения
и нанотехнологий ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»
д. техн. н. по специальности 2.6.1 Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов, доцент

/ Федосеева Александра Эдуардовна

03.02.2026

Сведения о ведущей организации

Адрес: 308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

Адрес электроники почты: Info@bsuedu.ru

Личную подпись
удостоверяю
Специалист отдела
кадрового обеспечения
Управления
организационного и
и кадрового обеспечения «

Федосеева А. Э.
03.02.2026

