

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук Наумовой Евгении Александровны  
на тему «Разработка научных основ легирования алюминиевых сплавов  
эвтектического типа кальцием»  
по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка  
металлов и сплавов».

Тема диссертации весьма актуальна, поскольку направлена на решение важной научно-практической проблемы, направленной на обоснование применения кальция в качестве основного легирующего элемента алюминиевых сплавов эвтектического типа, включая изучение формирования фазового состава и структуры многокомпонентных сплавов и разработку технологических параметров изготовления фасонных отливок и деформированных полуфабрикатов.

Научная новизна работы:

1. Построены фрагменты новых фазовых диаграмм  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{X}_1 \dots -\text{X}_n$  (где  $\text{X}_1$  -  $\text{Mg}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{La}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Sc}$ ) в области алюминиевого угла, что позволило: установить границы появления первичных кристаллов во всех исследованных системах при быстром (эксперимент) и медленном (расчет в Thermo-Calc) охлаждении; установить зависимости между составом и структурой кальций-содержащих сплавов; определить фазовый состав кальций-содержащих сплавов при разных температурах; определить последовательность фазовых превращений в кальций-содержащих сплавах; определить температуры тройных и четверных эвтектических реакций и состав соответствующих эвтектик; подтвердить наличие растворимости цинка в соединении  $\text{Al}_4\text{Ca}$  до образования фазы переменного состава  $(\text{Al,Zn})_4\text{Ca}$  при постоянном содержании кальция (20 ат.%); установить наличие растворимости меди, церия и лантана в соединении  $\text{Al}_4\text{Ca}$  до образования фаз  $(\text{Al,Cu})_4\text{Ca}$ ,  $\text{Al}_4(\text{Ca,Ce})$  и  $\text{Al}_4(\text{Ca,La})$ ; установить наличие растворимости кальция в соединениях  $\text{Al}_4\text{Ce}$  и  $\text{Al}_4\text{La}$  до образования фаз  $\text{Al}_4(\text{Ce,Ca})$  и  $\text{Al}_4(\text{La,Ca})$ ; установить наличие в большинстве систем  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{X}$  тройных алюминидов ( $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Ca}$ ,  $\text{Al}_{10}\text{Fe}_2\text{Ca}$ ,  $\text{Al}_9\text{CaNi}$  и др.), в связи с чем предположить наличие перитектической реакции в алюминиевом углу систем  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{Ni}$ ,  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{Fe}$ ,  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{Mn}$ , и спрогнозировать строение их поверхностей ликвидус согласно полученным экспериментальным данным; спрогнозировать строение четверной системы  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{Fe}-\text{Si}$  в области алюминиевого угла.

2. Показано, что легирующие элементы (X) в системах  $\text{Al}-\text{Ca}-\text{X}$  неодинаково влияют на строение алюминиево-кальциевой эвтектики. Выявлено, что это влияние связано с величиной интервала кристаллизации сплава. Наиболее сильное огрубление эвтектики выявлено в сплавах с магнием.

3. Установленные зависимости прочностных свойств алюминиево-кальциевых сплавов от режимов термической обработки позволили определить следующее: температура начала формоизменения частиц эвтектических алюминидов зависит от фазового состава эвтектики и ее дисперсности. В большинстве исследованных систем она составляет 450-500°C; добавка скандия в количестве 0,3 мас.% позволяет

получать в сплавах систем Al-Ca-Sc и Al-Ca-Sc-X (где X, - Mg, Zn, Cu, Fe, Si, Ni, Zr, Mn) эффект упрочнения, равный 30-40HV по сравнению с литым состоянием, после отжига при температурах 300-350°C. Это дает возможность упрочнять отливки и деформированные полуфабрикаты без использования операции закалки; упрочняющий эффект за счет наночастиц фазы L12 в кальций-содержащих алюминиевых сплавах может быть получен при полной или частичной замене скандия добавкой циркония. При этом пик упрочнения сдвигается в сторону более высоких температур (400-450°C); при легировании алюминий-кальциевых сплавов цинком и магнием характер распада алюминиевого раствора и вид упрочняющих выделений не меняется по сравнению с бескальциевыми сплавами, а максимальное упрочнение (до 200 HV) достигается при температурах старения 170-180°C.

4. Установлены зависимости между составом, структурой и свойствами сплавов на основе системы Al-Ca-Zn-Mg; предложены режимы термической (Т6) и деформационных обработок, обеспечивающие комплекс механических свойств кальций-содержащих сплавов на уровне высокопрочных сплавов 7xxx серии.

5. Установлена возможность получения экономнолегированных алюминий-кальциевых сплавов с повышенным содержанием Fe и Si за счет образования тройных алюминидов  $Al_{10}CaFe_2$  и  $Al_2Si_2Ca$ , имеющих компактную форму и входящих в состав многокомпонентных эвтектик.

6. Установлено, что многокомпонентные алюминий-кальциевые сплавы, содержащие Fe, Si и Mn, обладают узким интервалом кристаллизации, обеспечивающим повышенные литейные свойства, что позволяет получать фасонные отливки сложной конфигурации.

7. Установлено, что многокомпонентные алюминий-кальциевые сплавы после сфероидизирующего отжига, в процессе которого формируются глобулярные включения эвтектических фаз (в количестве до 40 об.%), обладают высокой деформационной пластичностью, позволяя получать различные полуфабрикаты (листы, прутки, проволоку) на серийном оборудовании.

Значимость работы для практики заключается в следующем:

1. Показана возможность получения на основе системы Al-Ca-Mg-Si-Mn-Zr-Sc легкого коррозионностойкого деформируемого сплава, обладающего временным сопротивлением более 300 МПа и не требующего закалки. Обоснована на примере сплавов систем Al-Ca-Fe-Si, Al-Ca-Mn (Fe,Si) перспективность использования кальций-содержащих сплавов для производства фасонных отливок на серийном оборудовании, в том числе методом литья под давлением, позволяя достигать временного сопротивления в литом состоянии более 200 МПа. Обоснована на примере легкого коррозионностойкого сплава системы Al-Ca-Mn-Fe-Si-ZrSc, упрочняемого без закалки, возможность получения из алюминий-кальциевых сплавов как фасонных отливок, так и деформированных полуфабрикатов (в том числе тонколистового проката).

2. Показана на примере высокопрочных модельных сплавов системы Al-Ca-Zn-Mg возможность получения в горячекатаных листовых образцах и штампованном поршне прочностных свойств ( $\sigma_{0.2} \sim 470$  МПа) на уровне сплавов 7xxx серии. Показана на примере экспериментального модельного сплава  $Al_4Ca_1Fe_{0,6}Si_{0,2}Zr_{0,1}Sc$ , суммарная доля кальций-содержащих фаз в котором превышает 18 об.%, возможность получения в промышленных условиях слитков

диаметром до 150 мм и различных деформированных полуфабрикатов (в том числе проволоки диаметром 0,26 мм). Даны общие технологические рекомендации по разработке: легких коррозионностойких сплавов, упрочняемых частицами L12 без использования закалки (литейных и деформируемых); высокопрочных алюминий-кальциевых сплавов, упрочняемых цинком и магнием (литейных и деформируемых); алюминий-кальциевых «естественных композитов», содержащих до 40 об.% интерметаллидных частиц (литейно-деформируемых).

Основные положения диссертации опубликованы в достаточном объеме для докторской диссертации, а именно в 63 печатных работах, из них 33 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в международные индексируемые базы данных «Web of Science» и «Scopus» (включая 7 статей в журналах первого квартиля); 1 монография и 4 патента.

Замечания по работе:

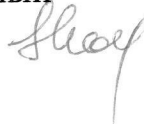
1. Деформационную технологичность сплавов с кальцием автор оценивает с помощью операции прокатки. Возможно, интерметаллид  $Al_4Ca$  позволяет получить тонкие листы. Но, наличие в листах высокой доли хрупкой фазы при комнатной температуре может снижать их сопротивляемость знакопеременным нагрузкам. Стоит ли использовать алюминий-кальциевые сплавы именно для получения листов?

2. Новые сплавы по литейным характеристикам автор сравнивает с силуминами, однако не указываются условия проведения экспериментов на горячеломкость и жидкотекучесть (степень перегрева расплава и др.), определялась ли в работе линейная усадка?

Сделанные замечания не снижают ценности работы.

Судя по автореферату, диссертационная работа Наумовой Евгении Александровны является законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», а также п. 9...11, 13, 14 «Положение о порядке присуждения учёных степеней» Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в ред. от 28.08.2017 г.), а её автор Наумова Евгения Александровна заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук.

Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры технологии материалов и транспорта,  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный  
университет»

 Колмыков Валерий Иванович

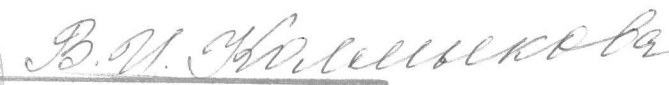
Научная специальность: 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

305040, РФ, г. Курск, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» ул. 50 лет Октября, д. 94

E-mail: [atsp-swsu@yandex.ru](mailto:atsp-swsu@yandex.ru)

Тел.: 8 (4712) 32-68-79.





Подпись  
удостоверено  
Специалист по кадрам



22.09.2020г.