

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИМЕТ РАН
чл.-корр. РАН
Владимир Сергеевич Комлев

« 6 » _____ 2019 г.
М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Дорошенко Виталия Владимировича
«Технологичность многокомпонентных алюминиевых сплавов при литье и обработке давлением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертационной работы

Исследование новых систем легирования и создания на их основе перспективных литейных композиций, способных заменить существующие промышленные сплавы является важной задачей. Последние исследования в области наиболее распространенных литейных сплавов, силуминов, показали, что применяемые способы повышения их механических свойств не могут обеспечить значительного прироста. Большинство предлагаемых методов подразумевает структурные изменения, слабо отражающиеся на характеристиках материала. Иные технологические приемы усложняют технологический процесс получения отливок. В связи с этим, избранная тематика диссертации по поиску других эвтектикообразующих компонентов актуальна, так как на базе именно эвтектик с дисперсным строением появляется возможность создания сплавов, обладающих высокими показателями литейных характеристик.

В качестве перспективной основы новых сплавов предлагается использовать двойную систему алюминий-кальций. Как показано в работе, кальций также, как и кремний, формирует с алюминием диаграмму эвтектического типа, с повышенной дисперсностью структуры сплавов, богатых алюминием. Указанный фактор предполагает лучшее сочетание механических и технологических свойств по сравнению с распространенными эвтектическими и доэвтектическими силуминами, и эти обстоятельства определяют актуальность и востребованность выбранного направления исследований.

Структура и основное содержание диссертации

Представленная Дорошенко В.В. научная работа состоит из введения, шести глав и общих выводов. Объем работы составляет 174 страницы текста, включая 47 таблиц, 115 рисунков и 4 приложения. Список литературных источников содержит 146 наименований. Работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Во **введении** приведена актуальность работы, сформулированы цели и задачи проводимого исследования, представлены научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту, по результатам работы приведены сведения о публикациях, представлены структура и объем диссертации.

В **первой** главе приведен анализ литературных источников по теме исследования. Рассмотрены существующие системы легирования, применяемые для получения фасонных отливок и деформируемых полуфабрикатов. Оценены возможности повышения механических свойств распространенных составов сплавов. Показана принципиальная возможность использования кальция как основного легирующего элемента. Обоснована возможность создания новых сплавов на алюминиево-кальциевой основе, не требующих длительной термической обработки. Выбраны перспективные системы для изучения алюминиево-кальциевых сплавов.

Во **второй** главе уделено внимание описанию режимов плавки и литья различных систем на основе системы алюминий-кальций с указанием используемого оборудования и качества применяемых материалов. Приведены методики изготовления образцов экспериментальных сплавов, режимы термической и деформационной обработки, а также методики исследования физико-механических свойств. В данной главе отражены выбранные методы изучения структуры и определения химического состава.

Третья глава работы посвящена моделированию фазового состава многокомпонентных систем. В данном разделе приведены расчеты в программе Thermo-Calc, в частности политермические и изотермические сечения, построенные поверхности ликвидуса и солидуса, расчеты неравновесной кристаллизации. Обоснованы и выбраны перспективные составы сплавов.

В **четвертой** главе показано влияние легирующих элементов на структуру и литейные свойства алюминиево-кальциевых сплавов. С помощью расчетных и экспериментальных методов изучен фазовый состав алюминиевых сплавов. Обоснованы оптимальные концентрации легирующих элементов, а также показано, что при большем их содержании в сплавах образуются различные первичные кристаллы. Установлено, что сплав на основе системы $Al - Ca - Mn - Fe$ может обладать высокой технологичностью как при фасонном литье, так и при обработке давлением. Выявлено, что в системе $Al-Ca-$

Zn-Mg цинк может растворяться в фазе Al_4Ca , формируя фазу $(\text{Al},\text{Zn})_4\text{Ca}$. Показано, что добавление кальция и кремния в сплав Al-10%Mg может приводить к образованию первичных кристаллов фаз Al_2CaSi_2 , Al_4Ca и Mg_2Si . При этом формирование тройного соединения наиболее вероятно.

В **пятой** главе приведено влияние термической обработки на структуру и свойства литых алюминиево-кальциевых сплавов. Изучено влияние малых добавок скандия на прочностные свойства литых отливок за счет формирования при отжиге наночастиц фазы Ll_2 . Найдено, что состояние максимального упрочнения достигается при температурах 300-350 °С. Показано, что упрочняющий эффект может быть получен при полной или частичной замене скандия добавкой циркония, при этом максимум упрочнения сдвигается в сторону более высоких температур. На примере сплавов $\text{Al}_6\text{Ca}_1\text{Fe}$ и $\text{Al}_6\text{Ca}_1\text{Fe}_{0.6}\text{Si}$ была продемонстрирована высокая технологичность алюминиево-кальциевых сплавов при литье под давлением. Отсутствие в их структуре первичных кристаллов и дисперсность эвтектики подтверждают, что при увеличении скорости охлаждения происходит смещение линий на фазовых диаграммах в сторону увеличения концентрации железа и кремния.

Шестая глава посвящена изучению влияния легирующих элементов на деформационную пластичность алюминиево-кальциевых сплавов

Была оценена деформируемость сплавов изучаемых систем методами горячей и холодной прокатки и выбраны температурные режимы. Из сплавов оптимального состава получены горячекатаные и холоднокатаные листы со степенями деформации не менее 80 % и 70 % соответственно. Проведена оценка влияния железа и кремния на структуру и технологичность при деформационной обработке системы Al-Ca-Mn-Zr-Sc. Автором установлено, что добавки железа и кремния в количествах до 0,5 % не снижают технологичности сплава при прокатке, но несколько повышают прочность и снижают пластичность. При изучении сплавов системы Al-Ca-Zn-Mg после горячей прокатки и термической обработки показано, что после термической обработки по режиму T6 прочность горячекатаных образцов соответствует высокопрочным деформируемым промышленным алюминиевым сплавам.

Диссертационная работа заканчивается заключением, списком используемых источников и приложениями.

К наиболее значимым результатам диссертации Дорошенко В.В., определяющих ее **научную новизну**, относятся:

- обоснование возможности на примере системы Al–Ca–Mn(Fe,Si) создания высокотехнологичных литейных и деформируемых сплавов, ввиду сочетания узкого интервала кристаллизации и дисперсного строения Ca-содержащей эвтектики;

- установление существенного упрочнения многокомпонентных сплавов на основе кальций-содержащих эвтектик за счет формирования в их структуре Zr- и Sc-содержащих наночастиц фазы $L1_2$ без использования закалки. При этом наилучшее сочетание эффекта дисперсионного упрочнения, технологичности и экономности легирования достигается при ~0,1 % Sc и 0,2–0,25 % Zr.

Основная практическая значимость выполненной работы состоит в предложенных технологических режимах плавки, литья и обработки давлением новых алюминиево-кальциевых сплавов различных систем легирования с использованием серийного оборудования.

Достоверность результатов данной диссертационной работы подтверждается использованием современного программного обеспечения для проведения моделирования фазового состава и обработки и представления данных, аналитического и испытательного оборудования, а также системного подхода к выполнению целей и задач.

Апробация и публикации основных положений работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 8 российских и международных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, входящих в базы данных Web of Science (Core Collection)/Scoupe, в том числе 14 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Основные вопросы и замечания по работе

1. В ходе исследований физико-механических свойств сплава Al-7%Ca-1%Mn-0,3%Sc установлено, что предел прочности образцов, вырезанных вдоль направления прокатки, ниже, нежели для образцов, ориентированных в поперечном направлении. По данным микроструктурного анализа этого сплава, полосчатая микроструктура должна определять обратное поведение свойств, и такой экспериментальный факт требует более подробного обсуждения.

1. В тексте диссертации присутствуют орфографические и пунктуационные ошибки, например, стр. 59, второй абзац снизу, «благодаря легирования»; стр. 87, первая строка сверху, «на представлено на рисунке 3.3 (а)».

3. Автором использовано литье в металлические формы (кокиль, литье под давлением) без обоснования преимуществ этого метода по сравнению с литьем в землю.

4. В разделе 2, п.2.6.2 указана методика измерения удельной электропроводности, однако результаты измерений не представлены.

Приведенные замечания имеют дополняющий, уточняющий и дискуссионный характер, не носят принципиальной окраски, не снижают общего положительного впечатления от научной и практической значимости полученных результатов.

Заключение

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, представляет заметный вклад в материаловедение алюмокальциевых сплавов и выполнена на высоком научном и методическом уровне. Результаты, полученные диссертантом и изложенные в работе, обладают существенной научной новизной и практической значимостью.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней НИТУ «МИСиС», а ее автор, Дорошенко Виталий Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заведующий лабораторией
физикохимии баротермических процессов
доктор хим. наук


Падалко Анатолий Георгиевич

Подпись руки А.Г.Падалко заверяю.
Ученый секретарь ИМЕТ РАН, кан.техн.наук


О.Н.Фомина

