

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НИУ «БелГУ»)



Победы ул., д. 85, г. Белгород, 308015; e-mail: info@bsu.edu.ru,
тел.: (4722) 30-12-11, факс 30-10-12, Web: http://www.bsu.edu.ru
ОКПО 02079230, ОГРН 1023101664519, ИНН/КПП 3123035312/312301001

17.09.2020

№ 0-1412

№

от

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке НИУ «БелГУ»

Репников Н.И.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Шуркина Павла Константиновича
**«Влияние эвтектикообразующих элементов (Са, Ni, Се, Fe) на структуру,
технологичность и механические свойства алюминиевых сплавов,
содержащих цинк и магний», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.16.01-«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»**

Актуальность темы диссертационной работы

Научные исследования по созданию новых металлических материалов, обладающих преимуществом перед существующими сплавами, является актуальной задачей современного металловедения. Сплавы системы Al-Zn-Mg являются наиболее прочными среди существующих алюминиевых сплавов, но достижение таких свойств обуславливается чистым по примесям (прежде всего, Fe и Si) химическим составом и прецизионной термомеханической обработкой. Более того, широко известно, что такие сплавы крайне склонны к образованию горячих трещин, что не позволяет изготавливать из них качественные фасонные изделия способом литья, а также ограничивает их сварку и сплавление лазерными аддитивными технологиями.

В работе соискателя уделено внимание всем вышеуказанным аспектам улучшения свойств сплавов системы Al-Zn-Mg. Поставленная задача по разработке высокопрочных сплавов, способных получаться из низкосортного сырья, и в то же время обладающих

конкурентоспособными механическими свойствами (σ_b более 500 МПа для деформированных сплавов и более 300 МПа для литейных сплавов), имеет практическую востребованность, а изучение механизмов формирования структуры в сплавах на основе многокомпонентной системы Al-Zn-Mg-(Fe, Ni, Ca, Ce, Si), обладает теоретической значимостью.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов и списка публикаций по теме диссертации. Работа изложена на 198 страницах, содержит 116 рисунков и 43 таблицы. Библиографический список содержат 204 наименования.

Во **введении** приведены актуальность, цели и задачи исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Представлены сведения о публикациях по результатам исследования, структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена обзору литературных источников по современному состоянию исследований в области сплавов системы Al-Zn-Mg. Приведена информация по литейным сплавам, деформируемым среднепрочным и высокопрочным сплавам, а также новым сплавам с добавками эвтектикообразующих элементов и железа. Показано, что преобладающее количество современных публикаций предлагает результаты изучения высокочистых сплавов применительно к специальным видам литья и новым методам термомеханической обработки. Подходы к созданию новых композиций в основном связаны с повышением содержания основных компонентов (Zn, Mg, Cu) и введением добавок Zr, Sc, Ag, что, как показано, не соответствует принципам рационального легирования алюминиевых сплавов.

Обоснована целесообразность применения радиально-сдвиговой прокатки к алюминиевым сплавам и приведены аспекты технологии и формирования структуры в результате обработки таким методом. Приведены сведения об исследовании высокопрочных сплавов типа никалин, которые привели к промышленному внедрению композиции AZ6NF (ГОСТ 4784-2019), на основании чего обуславливаются аналогичные подходы к разработке сплавов с кальцием и церием. По результатам обзора сформулированы основные задачи работы.

Вторая глава приводит описание режимов плавки, литья, термообработки и обработки давлением сплавов системы Al-Zn-Mg-Ni-(Ca)-(Ce)-(Fe)-(Si). Приведены составы всех композиций, которые разделены условно на базовые, литейные и деформируемые. Подробно описана методика расчетного анализа в программе Thermo-Calc, а также методы изучения структуры, физических и механических свойств образцов.

Третья глава посвящена расчетно-экспериментальному изучению фазового состава сплавов, характера кристаллизации и определению критических температур фазовых превращений. Подробно описаны фазовые диаграммы в области алюминиевого угла систем Al-Zn-Mg-Fe-Si-Ni, Al-Zn-Mg-Fe-Si-Ca и Al-Zn-Mg-Fe-Si-Ce с последующей верификацией результатов способом экспериментального моделирования равновесной и неравновесной кристаллизации. Основными результатами стали принципы выбора концентрационных диапазонов легирующих элементов, морфологические особенности железосодержащих фаз Al_9FeNi , $Al_{10}CaFe_2$, $Al_{10}CeFe_2$, а также построение четверной диаграммы Al-Zn-Ca-Fe, что определенно обладает научной значимостью.

Четвертая глава представлена исследованиями в области разработки литейных сплавов для применения без термообработки. Подробно описаны механизмы формирования литой структуры сплавов на основе матрицы Al-5,5Zn-1,5Mg, а также влияние совместно введенных элементов группы Ni, Ca, Ce и Fe на горячеломкость. Обоснован принцип улучшения трещиностойкости на основании характера кристаллизации, а также приведено сравнение со свойствами стандартных сплавов АМг6Лч, АМ4,5Кд, АК12М2. Представлены концентрационные диапазоны сплавов усредненного состава Al-5,5Zn-1,5Mg-1Ni-0,5Fe, Al-5,5Zn-1,5Mg-1Ca-0,5Fe и Al-5,5Zn-1,5Mg-1Ce-0,5Fe, которые способны содержать до 0,7%Fe и обладают показателем временного сопротивления выше 300 МПа. Глава завершается изучением возможности создания естественных композиционных материалов для лазерных аддитивных технологий. Показано, что при эвтектической концентрации (7%) кальция и никеля возможно формирование квазиэвтектической структуры в результате быстрой кристаллизации.

Пятая глава посвящена оценке влияния термической обработки на структуру и свойства литых сплавов на основе матрицы Al-8Zn-3Mg. Значительный акцент поставлен на формирование цинк- и магнийсодержащих фаз после гомогенизационного отжига слитков. Показано, что нерастворимые алюминиды $(Al, Zn)_4Ca$, также как и алюминиды с никелем Al_3Ni , способствуют снижению линейного размера зернограницных цепочек, а при определенной концентрации такие цепочки вовсе не наблюдаются в пользу распределения Т фазы равномерно внутри зерен. Показано, что указанные концентрации цинка и магния не позволяют получать качественные кокильные отливки, что обосновано низкими механическими свойствами, особенно пластичностью ниже 1%. Обоснованы концентрации элементов в сплавах для литья в разовые формы, где реализуется относительно низкая скорость кристаллизации.

Шестая глава описывает влияние термомеханической обработки на формирование структуры и свойств Ni- и Ca-содержащих сплавов. Подробно изучена эволюция структуры никелина стандартного состава AZ6N при получении листового проката и калиброванных прутков. Последние получались способом радиально-сдвиговой прокатки, что позволило значительно проработать структуру и получить показатель временного сопротивления выше 600 МПа после термообработки по режиму T1. Изучена структура и свойства листов сплава Al-8%Zn-3%Mg-1%Ca-0,5%Fe-0,5%Si по сравнению с базовым матричным сплавом и сплавом без кальция. Показано, что в случае компактной морфологии фазы Al_2CaSi_2 , возможно получение листового проката со степенью обжатия выше 90%. По сравнению с базовыми сплавами, сплав с кальцием показал преимущество в прочностных и пластических характеристиках, особенно в состоянии T7. В заключение предложен состав сплава, обладающий показателем временного сопротивления выше 500 МПа в листах, обработанных по режиму T1.

Диссертационная работа заканчивается заключением и списком используемых источников.

Содержание текста автореферата соответствует содержанию диссертации.

К наиболее значимым результатам диссертации Шуркина П.К., обуславливающим ее **научную новизну**, относятся:

1. Установлены составы сплавов на основе системы Al-Zn-Mg-(Fe, Ni, Ca, Ce, Si), позволяющие связать более 0,7%Fe в фазы Al_9FeNi , $Al_{10}CaFe_2$ и $Al_{10}CeFe_2$.
2. Показано строение четверной диаграммы Al-Zn-Ca-Fe в области алюминиевого угла, где возможно равновесие между фазой $(Al, Zn)_4Ca$ и Al_3Fe .
3. Показано, что наличие в структуре сплава трех типов интерметаллидных фаз $(Al, Zn)_4Ca$, Al_2CaSi_2 и $Al_{10}CaFe_2$ не препятствует получению качественных деформированных полуфабрикатов со степенью обжатия более 90%.

Основная **практическая ценность** диссертационной работы заключается в разработанных составах литейных сплавов, не требующих термообработки и обладающих после гравитационного литья временным сопротивлением выше 300 МПа, режимах радиально-сдвиговой прокатки сплавов типа никалин AZ6N, а также плоской прокатке кальцийсодержащих сплавов с высоким содержанием примесей с получением временного сопротивления выше 500 МПа.

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

Апробация и публикации основных положений работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на **11** российских и международных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано **12** печатных работ, входящих в перечень ВАК, включая 3 патента. 9 статей опубликованы в научных изданиях, входящих в базы данных Web of Science (Core Collection)/Scopus.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация написана четким и понятным языком и хорошо оформлена. В работе подробно представлены теоретическое описание и используемые экспериментальные методики.

Основные замечания к работе

1. В главе 3 при анализе фазовой диаграммы Al-Zn-Ca-Fe отмечается, что растворение цинка в фазе Al_4C способно привести к значительному отклонению от равновесной кристаллизации, что не учитывает программа Thermo-Calc. При этом не указан характер этого отклонения применительно к системе Al-Zn-Mg-Ca-Fe, являющейся основой для разработки сплавов.

2. В то время как утверждается, что кальций положительно влияет на коррозионную стойкость, это важное свойство не рассматривается применительно к успешно разработанным в работе литейным и деформируемым сплавам.

3. Описание причин низких свойств отливок из сплавов на основе матрицы Al-8Zn-3Mg основано на предположениях. Причины разрушения мог бы достоверно показать фрактографический анализ широко использованный, например, в главе 4.

4. В работе присутствует ряд грамматических и пунктуационных ошибок. Некоторые рисунки (например, рис. 6.21-6.24) представлены слишком мелким шрифтом и представляются трудными для восприятия.

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

Заключение

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, а полученные результаты полностью соответствуют поставленным целям и задачам и являются новыми, обоснованными и достоверными.

Диссертационная работа «Влияние эвтектикообразующих элементов (Ca, Ni, Ce, Fe) на структуру, технологичность и механические свойства алюминиевых сплавов, содержащих цинк и магний», представленная на соискание ученой степени кандидата

технических наук, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС".

Соискатель Шуркин Павел Константинович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01-«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий НИУ «БелГУ». На заседании присутствовали 15 человек. Протокол №13 от 03.07.2020


Заведующий лабораторией механических свойств
наноструктурных и жаропрочных материалов
НИУ «БелГУ»

д.ф.-м.н.

 Кайбышев Р.О.

И.о. заведующего кафедрой материаловедения
и нанотехнологий НИУ «БелГУ»

к.ф.-м.н.

 Тихонова М.С.