

Казахский Национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

УДК 669.2.017 : 620.18

На правах рукописи

ТОЛЕУОВА АЙНАГУЛЬ РЫМКУЛОВНА

Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в алюминиевых сплавах нового поколения на базе системы Al-Cu-Mn-Zr

6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
докт. техн. наук, проф.
Смагулов Д.У.
докт. техн. наук, проф.
Белов Н.А.

Республика Казахстан
Алматы, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

1	ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1	Научные основы создания новых металлических материалов.	12
1.1.1	Традиционные методы расчета фазовых и химических равновесий.....	18
1.1.2	Существующие компьютерные программы расчета фазовых равновесий и диаграмм.....	23
1.1.3	Программное обеспечение термодинамических расчетов Thermo–Calc Software.....	29
1.1.4	Программный продукт MSI EUREKA.....	32
1.2	Структура и фазовый состав алюминиевых сплавов системы Al–Cu–Mn–Zr.....	37
2	МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	45
2.1	Приготовление сплавов и образцов для исследований.....	45
2.2	Определение литейных свойств.....	46
2.3	Дифференциальный термический анализ.....	47
2.4	Определение механических свойств.....	48
2.5	Оптическая и электронная микроскопия.....	48
3	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
3.1	Построение политермических и изотермических разрезов диаграммы системы Al–Cu–Mn–Zr.....	50
3.1.1	Двойная система Al – Zr.....	52
3.1.2	Двойная система Al–Cu.....	55
3.1.3	Двойная система Al–Mn.....	57
3.1.4	Тройная система Al–Cu–Mn.....	58
3.1.5	Тройная система Al–Cu–Zr.....	63
3.1.6	Тройная система Al–Mn–Zr.....	65
3.2	Фазовая диаграмма Al–Cu–Mn–Zr как основа жаропрочных алюминиевых сплавов.....	67
3.2.1	Тройная система Al–Sc–Zr.....	74
3.3	Исследование влияния легирующих элементов и примесей на фазовый состав, структуру и свойства сплавов системы Al–Cu–Mn–Zr	78
4	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	102
4.1	Выбор оптимальных составов экономнолегированных жаропрочных литейных алюминиевых сплавов.....	102

4.2	Перспективные композиции с добавками циркония и скандия	111
4.3	Получение жаропрочных алюминиевых сплавов.....	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	131

Төлеуова Айнагүл Рымқұлқызының
6D071000 - «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»
мамандығы бойынша Ph.D докторы ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылып
отырған диссертациялық жұмысының
ҚЫСҚАША МАЗМҰНЫ

**Al–Cu–Mn–Zr системасы негізіндегі жаңа алюминий
қорытпаларында орын алатын фазалық, құрылымдық өзгерістерді
теориялық және тәжірибелік зерттеу**

Диссертация тақырыбы бойынша теориялық және тәжірибелік зерттеулердің негізгі мақсаты – базалық Al–Cu–Mn–Zr системасы негізіндегі алюминий қорытпаларының құрамы мен құрылысын оптимизациялау болып табылады.

Зерттеудің маңыздылығы. Қазақстанның үдемелі индустриалдық-инновациялық даму бағдарламасы отандық шикізаттардан, оның ішінде құрамында алюминий бар қазба байлықтардан, қосымша құны жоғары даяр өнімдер алуға бағытталған өндіріс орындарын құруды көздейді. Өнеркәсіптің барлық салаларының қарқынды дамуына байланысты, әсіресе, машина жасау, құрал – саймандар жасау, металлургия және химия өндірістерінде, авиация және ғарыштық техникада алюминий қорытпаларына деген сұраныс жақын арада шұғыл артады.

Жұмыста деформацияланатын жартылай даяр өнімдер (қаңылтырлар, сымдар, профильдер, панелдер, құбырлар, жан – жақты қысыммен және соққымен өңделген дайындамалар) алуға арналған, принциптік тұрғыдан жаңа алюминий қорытпалары ұсынылған. Бұл қорытпалар Al–Cu–Mn–Zr системасының негізінде алынған. Негізгі легірлеуші элементтердің концентрациясы 5 масс. %-тен аспайды. Басқа қалдық қоспалардың, әсіресе, темірдің шамасы әдеттегі қолданыстағы қорытпалардағыдай мөлшерде болады. Ұсынылып отырған қорытпалардың бастапқы механикалық қасиеттері қолданыстағы қорытпалардың қасиеттерімен бір деңгейде ($\sigma_B=250-350$ МПа). Ұсынылып отырған күйма қорытпалар үшін гомогенизациялау және олардан алынған даяр бұйымдарды шыңқтыру сияқты термиялық өңдеу операциялары қолданылмайды. Нәтижесінде деформацияланатын жартылай даяр бұйымдар алудың технологиялық циклы әлдеқайда қысқарады.

Зерттеу нысаны мен заты. Алюминий негізіндегі көп компонентті жүйелердің фазалық диаграммалары; ыстыққа төзімді алюминий қорытпалары және оларды өңдеу технологиялары; фазалық түрленулерді есептеу әдістері мен программалары және металдық жүйелерінің фазалық диаграммаларын тұрғызу.

Жұмыстың мақсаты. Алюминий негізіндегі көп компонентті жүйелердің фазалық диаграммаларын есептеу және тәжірибелік тұрғызу, олар негізінде жаңа ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларын, оларды құю режимдерін және термиялық өңдеуді дайындау.

Ғылыми зерттеудің методологиялық базасы (ғылыми зерттеудің пайдаланылатын әдістері мен пішіні, ғылыми зерттеуге ғылыми тіл табудың салыстырмалы талдаулары).

Диссертацияның тақырыбына сай зерттеу жұмыстары кезінде келесі төмендегі әдістер қолданылды:

- оптикалық және электрондық микроскопия;
- қорытпалардың химиялық құрамын элементтік талдау үшін растрлық электрондық микроскопия;
- механикалық қасиеттерді зерттеу;
- қорытпалардың коррозиялық қасиеттерін зерттеу;
- теориялық есептеу мен компьютерлік программалаудың әдістері.

Диссертациялық жұмыстың тақырыбының жаңалығы. Фазалық өзгерістер нәтижесінде жылу эффектісі мен атомды-кристалды заттар құрылымының арасындағы өзгерістерінің өзара байланысын алғаш рет негіздеу жобаланды. Бірқалыпты және айнымалы салқындату негізінде фазалық диаграммаларды есептеу мақсатында жаңа әдістеме мен компьютерлік программалар әзірленді.

Зерттеменің ғылыми-техникалық деңгейінің жоспары. Диссертация тақырыбының ғылыми зерттеу деңгейі материалтану және жаңа материалдар технологиясының саласындағы іргелі ғылымның дамуының мақсатына сай келеді.

Диссертациялық жұмыс қаржылы мемлекеттік бюджеттің тақырыптарына сай орындалды: 1) ҒТП № 723 УГМ.09 «Металдар мен қорытпалардан бәсекеге қабілетті дайын өнім өңдеу технологияларын (термиялық, химико-термиялық, термомеханикалық, беттік өңдеу, қысыммен өңдеу және т.б.), сонымен қатар жабындыны бетке түсіру технологисын өңдеу»; 2) № 747 ҒБМ.МҚ.12.17 «Белгіленген қасиеттер деңгейімен функциялық материалдардың және жаңа перспективалы қорытпалардың теориялық негізін өңдеу». Басымдық: 5. Елдің зияткерлік әлуеті. 5.1. Жаратылыс ғылымдар саласындағы фундаментальді зерттеулер.

ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау Комитетінің барлық талаптарына сай Диссертациялық зерттеудің негізгі қорытындылары 20 мақалада жария болды.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертация машинажазбаның мәтінінің 137 бетінде баяндалған, кіріспеден, төрт тараудан және қорытындыдан, 78 суреттен, 21 кесте мен 105 пайдаланылған әдебиеттер тізбесінен тұрады.

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание ученой степени «доктор философии» (Ph.D) по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Толеуова Айнагуль Рымкуловна

Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в алюминиевых сплавах нового поколения на базе системы Al-Cu-Mn-Zr

Основной задачей теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации являлась оптимизация состава и структуры алюминиевых сплавов базовой системы Al-Cu-Mn-Zr.

Актуальность исследования. Программа ускоренного индустриально-инновационного развития Казахстана предусматривает создание промышленных предприятий, ориентированных на выпуск конечной продукции с большой добавленной стоимостью из отечественного, в том числе алюминиевого сырья. В связи с ускоренным развитием всех отраслей промышленного производства, особенно, машиностроения, приборостроения, нефтегазовой отрасли, металлургической и химической промышленности, авиационной и космической техники, потребность в алюминиевых сплавах в ближайшем будущем будет резко возрастать.

В работе предлагается принципиально новая группа алюминиевых сплавов, предназначенных для получения деформируемых полуфабрикатов (среди них: листы, прутки, профили, панели, трубы, штамповки, поковки). Эти полуфабрикаты могут быть использованы в различных транспортных и строительных изделиях (среди них: диски автомобильных колес, обшивка и стойки кузовов, двери, перегородки и др.). Базовой системой для этих сплавов является система Al-Cu-Mn-Zr при содержании легирующих компонентов не более 5 мас.% и обычных требованиях по примесям (в том числе, по железу). По уровню исходных механических свойств предлагаемые сплавы находятся примерно на одном уровне ($\sigma_B = 250-350$ МПа). Особенностью предлагаемых сплавов является то, что технологический цикл получения деформируемых полуфабрикатов существенно короче. В частности, отсутствуют операции гомогенизации (слитков) и закалки (полуфабрикатов).

Объект и предмет исследования. Фазовые диаграммы многокомпонентных систем на основе алюминия; экспериментальное построение фазовых диаграмм металлических систем; жаропрочные алюминиевые сплавы и технологии их обработки.

Цель работы. Расчет и экспериментальное построение фазовых диаграмм многокомпонентных систем на основе алюминия, разработка на их основе новых жаропрочных алюминиевых сплавов, режимов их литья и термической обработки.

Методологическая база научных исследований (используемые методы и формы научного исследования, сравнительный анализ научных подходов к научному исследованию).

При выполнении исследований по теме диссертации были использованы нижеследующие методы:

- оптической и электронной микроскопии;
- растровой электронной микроскопии для элементного анализа химического состава сплавов;
- определения механических свойств;
- определения коррозионных свойств сплавов;
- методы теоретического расчета и компьютерного программирования.

Новизна темы диссертационной работы. Исследование фазовых диаграмм в равновесных и неравновесных условиях охлаждения с использованием современных методик и компьютерных программ расчета. Получение новой группы жаропрочных сплавов на основе алюминия, технологии их литья и термической обработки.

Планируемый научно-технический уровень разработки. Уровень научных исследований по теме диссертации отвечает задачам развития фундаментальной науки в области материаловедения и технологии новых материалов.

Диссертационная работа выполнена в рамках финансируемых госбюджетных тем: 1) НТП № 723 УГМ.09 «Разработка новых конкурентоспособных технологий обработки готовых изделий из металлов и сплавов (термической, химико–термической, термомеханической и поверхностной обработки, обработки давлением и др.), а также технологий нанесения покрытий»; 2) № 747 МОН.ГФ.12.17 «Разработка теоретических основ создания новых перспективных сплавов и функциональных материалов с заданным уровнем свойств». Приоритет: 5. Интеллектуальный потенциал страны. 5.1.Фундаментальные исследования в области естественных наук.

Основные итоги диссертационного исследования были опубликованы в 20 статьях, из них 11 статей: 2 – в научных журналах, входящих в базу данных Scopus, 4 статьи вышли в сборниках международных научно – практических конференций, 2 из которых были за рубежом, 6 статей в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста, включает введение, четыре раздела и заключение, 78 рисунков, 21 таблицы и списка использованных источников из 105 наименований.

ABSTRACT

of thesis on scientific degree competition « Philosophy Doctor» (Ph.D) of Toleuova Ainagul Rymkulovna on a specialty 6D071000 - Materials science and technology of new materials

Theoretical and experimental studies of phase and structural transformations in aluminum alloys on the basis of a new generation of aluminum alloys Al–Cu–Mn–Zr

The main task of theoretical and experimental studies on the thesis is to optimize the composition and structure of aluminum alloys of base system Al–Cu–Mn–Zr.

Relevance of research. The program of accelerated industrial–innovative development of Kazakhstan provides the creation of industrial enterprises oriented to the production of final products with high added cost of the domestic, including aluminum materials. Due to the rapid development of all sectors of industrial production, particularly, engineering, instrumentation, oil and gas industry, metallurgy and chemical industry, aviation and space technology, the demand for aluminum alloys in the near future will increase sharply.

It is proposed fundamentally new group of aluminum alloys for the production of deformed semi finished products (including: sheets, rods, wire, panels, pipe, stamping and forgings). These semi-finished products can be used in a variety of transportation and building products (including: disks of car wheels, chassis and racks covering, doors, partition walls, etc.). The reference system for these alloys is a system of Al–Cu–Mn–Zr for the content of alloying components is not more than 5 weight %, and the usual requirements for impurities (including the iron). By the level of the initial mechanical properties of the proposed and used alloys are approximately in the same level ($\sigma_B=250\text{--}350$ MPa). Feature of the proposed alloys is that the technological cycle of obtaining semi–deformable substantially is shorter. In particular, there is no operation of homogenization (bars) and tempering (semi–finished products).

Object and subject of research. Phase diagrams of multicomponent systems based on aluminum; aluminum alloys and heat-resistant aluminum alloys and their processing technologies, methods and programs of the phase transformations' calculation and phase diagrams of metal building systems.

The goal of the work. Calculation and experimental construction of the phase diagrams of multicomponent systems based on aluminum, on their basis the development of new heat resistant aluminum alloy castings and their modes of heat treatment.

Methodological basis of research (the methods and forms of scientific research, comparative analysis of scientific approaches to scientific research).

On the theme of the dissertation following methods were used when doing research:

- optical and electron microscopy;
- scanning electron microscopy to analysis of elemental chemical composition of alloys;
- differential thermal analysis;
- determination of the mechanical properties;
- determination of the corrosion properties of alloys;
- methods of theoretical calculations and computer programming.

The novelty of the thesis' theme. For the first time it is supposed to substantiate the relationship between changes in the structural parameters of the atomic crystal structure of substances and thermal effects in phase transitions. It is developed the new methods and computer programs calculation of phase diagrams in equilibrium and non-equilibrium cooling. It is obtained the new heat-resistant alloys, their technology casting and heat treatment.

Expected scientific and technological level of development. The level of scientific research on the dissertation theme meets the objectives of the development of fundamental science in the field of materials science and technology of new materials.

Dissertational work was performed as part of financed by state budget: 1) STP № 723 **YFM.09** «The development of new competitive processing technology of finished products from metals and alloys (thermal, chemical-thermal, thermomechanical and surface treatment, pressure treatment, etc.), as well as coating technology»; 2) № 747 MES.SF.12.17 « Development of the theoretical foundations of new alloys and advanced functional materials with a given level of properties». Priority: 5. The intellectual potential of the country. 5.1. Fundamental research in the natural sciences.

The main results of the dissertation research have been published in 20 papers that meet all the requirements of the Committee for Control of Education and Science of MES RK.

The volume and structure of the thesis. The dissertation consists of 137 pages of typewritten text, includes an introduction, four chapters and a conclusion, 78 figures, 21 tables and a list of sources used 105 items.