

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Иманғали Жаңдос Абдикаримұлы

«Алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың
фазалық диаграммаларын термодинамикалық есептеу және тұрғызу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру
бағдарламасы

Алматы 2025

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«Материалтану,
нанотехнологиялар
және инженерлік физика»
кафедрасының меңгерушісі

 Какимов У.К.
«05» 06 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Иманғали Жандос Абдикаримұлы

Тақырыбы: «Алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың
фазалық диаграммаларын термодинамикалық есептеу және тұрғызу»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 жылғы №26-П/Ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «05» 06 2025 ж.

Көп компонентті жүйелердің термодинамикалық деректерін талдау.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Фазалық диаграммаларды термодинамикалық есептеу үшін
бағдарламалық жасақтаманы қолданудың ерекшеліктері мен проблемалары
анықталды.

Ұсынылған негізгі әдебиет 22 атаудан тұрады.

1.Осинцев О.Е., Конкевич В.Ю. Высокопрочные быстро
закристаллизованные алюминиевые сплавы систем Al-Zn-Mg и Al-Zn-Mg-Cu
// Технология легких сплавов. – Алматы, 2010.

2. Аменова А.А. Теоретические и экспериментальные исследования
фазового состава, структуры и свойств сплавов системы Al-Ni-Fe-Mn-Zr-Si: –
Алматы, 2014

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	31.11.2024-28.01.2025	
Тәжірибелік бөлім	27.01.2025-13.03.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	05.04.2025-20.04.2025	
Алдын-ала қорғау	29.04.2025	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма
бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты- жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Смагулов Д.У., д.т.н., профессор	15.05.2025	
Тәжірибелік бөлім	Смагулов Д.У., д.т.н., профессор	30.05.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	Смагулов Д.У., д.т.н., профессор	02.06.2025	
<u>Нормоконтролер</u>	Етиш Т.Е. Техника ғылымдарының магистрі	02.06.2025	

Ғылыми жетекшісі _____ Смагулов Д.У.

Тапсырманы орындауға білім алушы _____ Иманғали Ж.А.

Қүні «05» 06 - 2025

6B07109- «Инженерлік физика және материялтану» мамандығы
бойынша Иманғали Жандос Абдикаримұлының
«Алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын
термодинамикалық есептеу және тұрғызу»
тақырыбында орындаған дипломдық жобасы туралы

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІСІНІҢ ПІКІРІ

Ұсынылып отырған дипломдық жұмыста көп компонентті алюминий қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылысын зерттеу үшін, замануы есептеу бағдарламасы -Thermo-Calc қарастырылған. Алюминий негізіндегі қорытпалар авиацияда, көлік жасауда, машинақұрастыруда және басқа да салаларда кең қолданылады. Мұндай материалдардың қасиеттері олардың химиялық құрамына және құрылысына, демек, термиялық өндеуге әдістеріне тікелей байланысты қалыптасады. Олардың өндірістегі қажетті сапасын қамтамасыз ету үшін, теориялық және тәжірибелік ғылыми – зерттеу әдістері қолданылады.

Дипломдық жұмыстың мақсаты - Thermo-Calc бағдарламасының жұмыс принципімен таныса отырып, оны толығымен меңгеру және алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын есептеп, тұрғызу болды.

Дипломдық жұмыста Thermo-Calc бағдарламасын қолдану мүмкіндіктері зерттелді. Зерттеу барысында алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың фаз алық диаграммалары есептеліп, тұрғызылды.

Алынған нәтижелердің негізінде, алюминий қорытпаларында мына төмендегідей фазалық және құрылымдық өзгерістер орын алатыны көрсетілген. Легірлеуші элементтердің алюминидегі еру шектері өзгереді. Си мөлшеріне байланысты Al_2Si фазасы бөлініп шығып, FCC_A1 фазасымен қатар тепе-теңдік орнатады. Бұл құйманың құрылымдық беріктігін арттыруда маңызды рөл атқарады. Mg қатысуымен екі қатты ерітінді фазасы (FCC_A1 және FCC_A1#2) бөлінетіні анықталды. Қатты ерітінділердің екі түрлі фазалық нұсқасының пайда болуы, олардың суыну жылдамдына байланысты екені көрсетілген.

Дипломдық жұмысын орындау барысында Иманғали Ж.А. ең алдыңғы қатарлы компьютерлік есептеу бағдарламасын игеріп, қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылысын есептеуді үйренді. Өз жұмысына үлкен жауапкершілікпен қарады.

Иманғали Жандос Абдикаримұлының дипломдық жобасы «**Өте жақсы**» деген бағаға ылайық деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

т.ғ.д., профессор

(лауазымы, оқу дәрежесі, атағы)

 Д.Ұ.Смағұлов

(қолы)

«06» 06 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Иманғали Жандос Абдикаримұлы

Тақырыбы: : Алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың фазалық

диаграммаларын термодинамикалық есептеу және тұрғызу

Жетекшісі: Смагулов Д.У.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 10,9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4,8

Дәйексөз (35): 0,1

Өріптерді ауыстыру: 6

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 9

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

26.05.2025



Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

РЕЦЕНЗИЯ

«Дипломдық жұмыс» бойынша

Иманғали Жандос Абдикаримұлы

6B07109-Инженерлік физика және материалтану

Тақырып: «Алюминий негізіндегі көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын термодинамикалық есептеу және тұрғызу»

Орындалды:

а) Графикалық бөлім 43 парақтарда
б) түсіндірме жазба 16 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

1. Графикалық материалдың сапасы – кейбір фазалық диаграммаларда осьтердің немесе сызықтардың белгіленуі жеткіліксіз (мысалы, температура немесе концентрация шкаласы анық емес);

2. Әдебиеттер тізімі – соңғы 5 жылда шыққан заманауи ғылыми мақалалар аз қамтылған. Thermo-Calc бағдарламасына қатысты жаңа әдебиеттер қосу ұсынылады.

Жұмысты бағалау

Бұл дипломдық жұмыс барысында автор алюминий, мыс және магний элементтерінен тұратын көп компонентті жүйе бойынша фазалық диаграммаларды термодинамикалық тұрғыда есептеу және тұрғызу зерттеулерін жүргізді. Бұл мақсатта Thermo-Calc бағдарламасы қолданылды.

Нәтижесінде, жүйенің екілік және үштік диаграммалары тұрғызылып, негізгі фазалардың (мысалы, S-фаза, θ -фаза, $Al-Mg$) түзілу шарттары мен фазалық шекаралар анықталды. Автор құрам мен температураға байланысты фазалық өзгерістерді көрсетіп, әртүрлі аймақтардағы фазалардың тепе-теңдік күйін сипаттады. Жұмыс барысында Thermo-Calc бағдарламасының деректер базасы тиімді қолданылып, нәтижелердің нақтылығы қамтамасыз етілді. Зерттеу барысында алынған фазалық диаграммалар ғылыми тұрғыдан маңызды, олар жүйенің фазалық өзгерістерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Жалпы, диплом жұмысы талаптарға сай орындалған және қорытындылары ғылыми негізделген. Жұмысты қорғауға ұсынуға болады.

Дипломдық жұмыс 85% деген бағаға лайық деп есептеймін. Меніңше, студент Иманғали Жандос Абдикаримұлы 6B07109 – Инженерлік физика және материалтану білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр дәрежесін иеленуге лайық.

Рецензент:

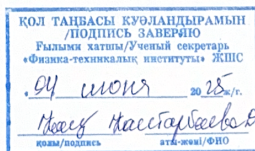
Фотоэлектрлік құрылғылар мен
құбылыстар зертханасының меңгерушісі,

ф.м.ғ.к., профессор,

КАНЦЕЛЯРИЯ

Дмитриева Е.А.

2025 ж.



АҢДАТПА

Алюминийге негізделген көп компонентті жүйелердің термодинамикалық есептеу және фазалық диаграммаларын құру әдістемесін игеру фазалық тепе-теңдікті талдауда маңызды. Алюминий жеңілдік, коррозияға төзімділік және жақсы механикалық қасиеттердің үйлесімі арқасында әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады, бұл күрделі алюминий қорытпаларын зерттеуге қызығушылық тудырады.

Зерттеу болып табылады термодинамикалық модельдеу принциптерін зерттеу және фазалық диаграммаларды есептеу үшін Thermo-Calc бағдарламалық жасақтамасының практикалық дағдыларын игеру. Жұмыс аясында алюминийдің қатысуымен екілік және үштік жүйелерді талдау, қатты және сұйық ерітінділердің қолайлы модельдерін, сондай-ақ металларалық қосылыстарды таңдау міндеттері қойылды. Модельдік параметрлерді таңдау әдістемесіне және фазалардың тұрақтылығын кейіннен түсіндіре отырып, "композиция–температура" координаттарында диаграммаларды құруға ерекше назар аударылады. Зерттеу термодинамикалық есептеу әдістерімен күрделі көп компонентті жүйелерді одан әрі зерттеу үшін қажетті ғылыми базаны қалыптастыруға бағытталған.

АННОТАЦИЯ

Освоение методики термодинамического расчёта и построения фазовых диаграмм многокомпонентных систем на основе алюминия имеет важное значение для анализа фазовых равновесий. Алюминий широко применяется в различных отраслях благодаря сочетанию лёгкости, коррозионной стойкости и хорошим механическим свойствам, что обуславливает интерес к исследованию сложных алюминиевых сплавов.

Исследования являются изучением принципов термодинамического моделирования и освоением практических навыков работы с программным обеспечением Thermo-Calc для расчёта фазовых диаграмм. В рамках работы поставлены задачи по анализу бинарных и тройных систем с участием алюминия, выбору подходящих моделей твёрдых и жидких растворов, а также интерметаллических соединений. Особое внимание уделено методике подбора модельных параметров и построению диаграмм в координатах «состав–температура» с последующей интерпретацией устойчивости фаз. Исследование направлено на формирование научной базы, необходимой для дальнейшего изучения сложных многокомпонентных систем методами термодинамического расчёта.

ANNATATION

Mastering the methods of thermodynamic calculation and construction of phase diagrams of multicomponent aluminum-based systems is important for the analysis of phase equilibria. Aluminum is widely used in various industries due to its combination of lightness, corrosion resistance and good mechanical properties, which leads to interest in the study of complex aluminum alloys.

The purpose of the research is to study the principles of thermodynamic modeling and to master practical skills in working with Thermo-Calc software for calculating phase diagrams. As part of the work, tasks were set for the analysis of binary and ternary systems involving aluminum, the selection of suitable models of solid and liquid solutions, as well as intermetallic compounds. Special attention is paid to the method of selecting model parameters and constructing diagrams in the composition–temperature coordinates with subsequent interpretation of phase stability. The research is aimed at forming the scientific base necessary for further study of complex multicomponent systems by thermodynamic calculation methods.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
	ӘДЕБИ ШОЛУ	10
1.1	Жаңа металл материалдарын алудың түрлері	10
1.2	Физикалық тепе-теңдікті есептеудің термодинамикалық әдістері	11
1.3	Жаңа материалдар мен олардан дайын бұйымдар жасау проблемаларының қазіргі жағдайы	13
1.4	Алюминий қорытпаларының құрылымы мен фазалық құрамы	15
1.5	Алюминий негізіндегі жаңа материалдар	23
1.6	Термодинамикалық модельдеу және Thermo-Calc	25
2	ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ	26
2.1	Al–Cu жүйесінің сипаттамасы	26
2.2	Al–Mg жүйесінің сипаттамасы	28
2.3	Al–Cu– Mg жүйесінің сипаттамасы	29
3	ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ	35
3.1	Al–Cu–Mg көп компонентті қорытпаларының тепе-тең емес кристалдануы	35
3.2	Al–Cu–Mg жүйесіндегі таралу қисықтарын талдау	37
3.3	Al–Cu–Mg қорытпаларының кристалдануын есептеу	38
	ҚОРЫТЫНДЫ	40
	ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	41
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	42

КІРІСПЕ

Алюминий негізіндегі көп компонентті жүйелердегі фазалық тепе-теңдікті зерттеу механикалық және технологиялық қасиеттері жақсартылған жаңа қорытпаларды жасау үшін өте маңызды. Атап айтқанда, Al–Cu–Mg жүйесі алюминий металлургиясының кілттерінің бірі болып табылады және әуе-ғарыш және көлік салаларында қолданылатын Деформацияланатын және құю алюминий қорытпаларын жасауда кеңінен қолданылады. Алюминийді мыс пен магниймен кешенді легирлеу күшейту фазаларын қалыптастыру арқылы қорытпалардың беріктік сипаттамаларын едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Мұндай жүйелердегі фазалық өзгерістерді талдау және болжау үшін нақты фазалық диаграммалардың болуы маңызды. Алайда, диаграммаларды тек эксперименттік әдістермен құру уақыт пен ресурстардың едәуір шығынын талап етеді, әсіресе үштік және күрделі жүйелер жағдайында. Бұл мәселені шешудің тиімді құралы-мамандандырылған бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, термодинамикалық модельдеу.

Бұл жұмыста Al–Cu–Mg үштік жүйесінің фазалық диаграммаларын есептеу үшін есептеу термодинамикасы әдістеріне және tdb (Thermodynamic DataBase) термодинамикалық мәліметтер базасына негізделген Thermo-Calc бағдарламасы қолданылды. Бағдарлама фазалық тепе-теңдікті модельдеуге, фазалардың тұрақтылығын бағалауға, металларалық қосылыстардың пайда болуының температуралық интервалдарын анықтауға, сондай-ақ компоненттердің әртүрлі концентрацияларында үштік диаграммалардың қималарын алуға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеудің мақсаты Al–Cu–Mg жүйесінің фазалық диаграммаларын Thermo-Calc көмегімен құру және талдау, жаңа қорытпаларды әзірлеу және термиялық өңдеу режимдерін оңтайландыру кезінде практикалық маңызы бар олардың тұрақтылығының негізгі фазалары мен температуралық интервалдарын анықтау болып табылады.

1 ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1 Жаңа металл материалдарын алудың

Жаңа металл материалдарын жасау және алу — физика, химия, металлургия, материалтану, нанотехнология және инженерлік ғылымдарды қамтитын пәнаралық сала. Ол берілген физика-химиялық, механикалық және пайдалану қасиеттеріне ие жаңа буынның құрылымдық және функционалдық материалдарын жасауда шешуші рөл атқарады [1].

Металдардың атомдық-кристалдық құрылымы

Металдардың қасиеттері кристалдық тордың түріне (CCC, GCC, GPU), қаптаманың тығыздығына, құрылымның ақауларына және атомаралық өзара әрекеттесуге байланысты.

Микроқұрылым мен макро қасиеттер арасындағы байланысты зерттеу металдардың сипаттамаларын Атом деңгейінде мақсатты түрде өзгертуге мүмкіндік береді [3].

Күй диаграммалары және фазалық түрлендірулер

Күй диаграммалары (Fe-C, Al-Si, Ni-Ti және т.б.) әртүрлі температуралар мен концентрациялардағы фазалық құрам туралы түсінік береді.

Фазалық өзгерістерді бақылау (эвтектикалық, перитектикалық, мартенситтік) қажетті қаттылықпен, икемділікпен немесе коррозияға төзімділікпен материалдар жасауға мүмкіндік береді [2].

Допинг теориясы

Легирленген элементтер тордың параметрлерін өзгертеді, беріктікке, икемділікке, ыстыққа төзімділікке және басқа қасиеттерге әсер ететін қатты ерітінді немесе екінші фазалар жасайды

Оңтайлы сипаттамалары бар болаттарды, қорытпаларды және аморфты металдарды жасауға бағытталған ұтымды легирлеу принциптері бар.

Металл материалдарын алу әдістері

Классикалық металлургия

Пирометаллургия-металдарды жоғары температурада балқыту және тазарту (домна өндірісі, түрлендіргіш балқыту, электр пештері).

Гидрометаллургия-қышқылдар/сілтілердің Сулы ерітінділерінің көмегімен кендерден немесе қайталама шикізаттан металдарды алу [2-4]

Ұнтақты металлургия-металл ұнтақтарын престоу және агломерациялау; бірегей кеуектілігі мен құрамы бар материалдарды алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі синтез әдістері

Плазмохимиялық тұндыру (PVD, CVD) — жоғары адгезиясы мен тозуға төзімділігі бар жабындар мен пленкалардың түзілуі.

Электро тұндыру-қалыңдығы бақыланатын металл жабындарды немесе наноқұрылымды қабаттарды алу.

Аддитивті технологиялар (металдармен 3D-басып шығару) — аэроғарыш және медицина салаларында өзекті болып табылатын, ең аз қалдықтары бар күрделі нысандағы бұйымдардың синтезі [5].

Құрылым және қасиеттер инженериясы

Микроқұрылымды басқару

Термиялық өңдеу (күйдіру, қалыпқа келтіру, қатайту, босату) ұнтақты, фазалық құрамды, дислокацияны және қалдық кернеуді өзгертуге мүмкіндік береді. Қысыммен өңдеу (соғу, илемдеу, экструдтау) Астықты ұнтақтау және текстуралау арқылы қатайтуға ықпал етеді.

Наноқұрылым

Нанотехнологияны қолдану беріктігі мен тозуға төзімділігі жоғары ультра ұсақ түйіршікті және нанокристалды металдарды алуға мүмкіндік береді. Әдістері: механикалық допинг, жоғары энергетикалық ұнтақтау, SPD (severe Plastic Deformation), Кристо өңдеу.

Металл материалдарының жаңа кластарын әзірлеу

Жоғары беріктігі бар қорытпалар

Алюминий, титан және магний қорытпалары жоғары беріктік пен масса қатынасы бар. Автомобиль және әскери техникаға арналған ауыр болаттар (TRIP, TWIP, марганец және борты бар).

Ыстыққа төзімді және ыстыққа төзімді қорытпалар

Турбиналарға, қозғалтқыштарға және атом энергетикасына арналған никель суперқорытпалары (Inconel, Hastelloy). Реттелген құрылымы және жоғары температураға төзімділігі бар интерметаллидтер (TiAl, NiAl). Аморфты және наноқұрылымды металдар. Металл шынылар — алыс ретті емес қорытпалар; жоғары беріктікке, серпімділікке және коррозияға төзімділікке ие. Электроникада, медициналық құралдарда, спорттық жабдықтарда қолданылады [6].

Биоүйлесімді және функционалды қорытпалар. Титан, тантал, ниобий негізіндегі қорытпалар-протездеуде, импланттарда және хирургияда қолданылады. Ақылды материалдар (nitinol) жад формасы. Қатаю және деградация механизмдері.

Цифрландыру және модельдеу

Сандық модельдеуді (DT, MD, FEM) қолдану құрылымды, фазалық тұрақтылықты, ақаулы күйлерді және пайдалану қасиеттерін материалды жобалау кезеңінде де болжауға мүмкіндік береді. Өзекті бағыттар мен сын-қатерлер. Экологиялық таза металлургия-СО₂ шығарындыларын азайту, сынықтарды қайта өңдеу, энергияны үнемдейтін технологиялар. Дөңгелек экономика-металл материалдарын қайта пайдалану және қалпына келтіру. Экстремалды жағдайлар үшін материалдар жасау — радиацияға төзімді, үйкеліске қарсы, криогенді, аса қатты металдар [7].

1.2 Физикалық тепе-теңдікті есептеудің термодинамикалық әдістері

Физикалық тепе — теңдік-бұл жүйенің күйі, оның бөліктері арасындағы энергия мен заттың макроскопиялық алмасуы тоқтайды, ал күй параметрлері (температура, қысым, концентрация) уақыт бойынша тұрақты болып қалады. Физикалық тепе-теңдікті есептеу металлургияда, химиялық технологияда, материалтану ғылымында, фазалық өзгерістердің термодинамикасында және жаңа материалдарды жобалауда қажет [8].

Термодинамика заттың әртүрлі фазалары арасындағы тепе-теңдік жағдайларын сандық сипаттауға және болжауға арналған қуатты құралдар жиынтығын ұсынады.

Термодинамикалық потенциалдар және тепе-теңдік шарттары

Тепе теңдікті сипаттау үшін төрт негізгі термодинамикалық потенциал қолданылады:

Ішкі энергия (U) - тұрақты көлем мен энтропияда қолданылады.

Энтальпия ($H = U + pV$) — тұрақты қысымда.

Гельмгольц энергиясы ($F = U - TS$) — тұрақты көлем мен температурада.

Гиббс энергиясы ($G = H - TS$) — тұрақты температура мен қысымда, практикалық тепе-теңдікті есептеу үшін ең маңызды [9-11].

Термодинамикалық тепе-теңдік шарты:

Егер берілген сыртқы жағдайларда оның тиісті термодинамикалық потенциалы минимумға жетсе, жүйе тепе-теңдікте болады.

Негізгі тепе-теңдік теңдеулері

Гиббс тепе-теңдік теңдеуі

Тұрақты температура мен қысым кезінде фазалар арасындағы тепе-теңдік шарты келесідей жазылады:

$$\mu_i^{(\alpha)} = \mu_i^{(\beta)} \quad (1)$$

Гиббстің фазалық ережесі

Еркіндік дәрежелерінің санын анықтау үшін:

$$F = C - P + 2 \quad (2)$$

Гиббс энергиясын азайту

Ол көп компонентті және көп фазалы жүйелерді есептеу үшін кеңінен қолданылады. Әдістің мәні: жүйенің Гиббс жалпы энергиясы минималды болатын фазалардың құрамы анықталады. Ол Thermo-Calc, FactSage, HSC Chemistry бағдарламалық пакеттерінде қолданылады [12].

Материалдық баланс әдісі

Заттың сақталу теңдеулері мен тепе-теңдік тұрақтылары жасалады. Теңдеулер жүйесі шешіледі:

Математикалық: Ньютон әдістері, итерациялық процедуралар.

Химиялық реакцияларды, фазалық ауысуларды, булануды, кристалдануды есептеуде қолданылады. Өрекет үлгілерін пайдалану,

Практикалық қолдану

Фазалық тепе-теңдік

Фазалық диаграммаларды құру (мысалы, қорытпалардың күй диаграммалары). Балқу, қайнау, эвтектика, солидус және ликвидус температураларын анықтау.

Есептеуге арналған бағдарламалық құралдар

HSC Chemistry-тепе-теңдікті, диаграммаларды, процестердің энергиясын есептеу.

FactSage-фазалық және химиялық есептеулерге арналған кәсіби жүйе.

Thermo — Calc-қорытпалар мен олардың тепе-теңдігін модельдеуге арналған жетілдірілген құрал.

CHEMCAD, Aspen Plus-химиялық инженерияда қолданылады.

MATLAB, Python-теңшелетін есептеулер мен нәтижелерді визуализациялау үшін

Қазіргі заманғы бағыттар

CALPHAD әдісі-термодинамикалық мәліметтер базасына негізделген фазалық диаграммаларды есептеу.

Кванттық термодинамика-нано масштабтағы тепе-теңдікті сипаттайды.

Машиналық оқыту-үлкен көлемдегі мәліметтер бойынша тепе-теңдік жағдайларын болжау үшін қолданылады.

Сандық егіздер-тепе-теңдік күйлерін ескере отырып, материалдардың бүкіл өмірлік циклін модельдейді.

Соңғы онжылдықтарда ғылым мен техниканың дамуы жақсартылған физика-механикалық, химиялық және пайдалану қасиеттеріне ие жаңа материалдарды жасаумен тығыз байланысты. Жаңа құрылымдық және Функционалдық материалдардың пайда болуы авиация, машина жасау, электроника, медицина, энергетика және қорғаныс өнеркәсібі сияқты стратегиялық маңызды салалардағы прогреске айтарлықтай әсер етеді. Бәсекелестіктің күшеюі, өнімнің қауіпсіздігіне, сенімділігіне және беріктігіне қойылатын талаптардың өсуі жағдайында экстремалды жағдайларда жұмыс істей алатын материалдардың рөлі артады: жоғары температурада, қысымда, агрессивті ортада, радиациялық әсерде және т. б [13].

1.3 Жаңа материалдар мен олардан дайын бұйымдар жасау проблемаларының қазіргі жағдайы

Жаңа материалдарды жасау химия, физика, материалтану, механика, нанотехнология және инженерлік жобалауды қамтитын пәнаралық тәсілді қажет ететін күрделі ғылыми-техникалық міндет болып табылады. Алайда, іс жүзінде ғылыми белгісіздікке (қасиеттерді болжау, құрылымды модельдеу) және технологиялық кедергілерге (масштабтау, өндеу, стандарттау) байланысты бірқатар мәселелер туындайды [14,15].

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты қазіргі жағдайды талдау және жаңа материалдарды әзірлеуге және олардың негізінде өнімдер шығаруға байланысты негізгі проблемаларды анықтау, сондай-ақ осы саладағы дамудың перспективалық бағыттарын қарастыру болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

Жаңа материалдардың бар классификациялары мен қасиеттерін зерттеу: композиттер, наноматериалдар, қорытпалар, функционалды жабындар.

Жаңа материалдарды синтездеу мен өндеудің заманауи технологияларына талдау жүргізу [16].

Материалдарды жобалау, өндіру және өнеркәсіпке енгізу кезеңдеріндегі негізгі проблемаларды анықтау.

Даму перспективаларын және Белгіленген мәселелерді шешудің мүмкін жолдарын бағалау.

Әр түрлі салаларда жаңа материалдарды сәтті жүзеге асырудың мысалдарын қарастырыңыз.

Қазіргі заманғы материалдардың жіктелуі

Қазіргі материалдарды шартты түрде келесі санаттарға бөлуге болады:

-Механикалық жүктемелерді қабылдауға арналған құрылымдық материалдар (металдар, қорытпалар, композиттер);

-Ерекше физикалық қасиеттері бар функционалды материалдар (электр өткізгіштік, магниттік сезімталдық, пьезоэффект);

-Жұқа химия, механохимия, плазмалық бүрку әдістерімен алынған және өлшемдік әсерінің арқасында ерекше қасиеттерімен сипатталатын нанокұрылымды материалдар;

-Медицинада және протездеуде қолданылатын биоматериалдар;

-Сыртқы факторлардың әсерінен қасиеттерін өзгерте алатын ақылды материалдар (температура, жарық, электр өрісі және т.б.).

Жаңа материалдарды алу әдістері

Қазіргі кезеңде келесі технологиялар қолданылады:

-Ұнтақты металлургия және агломерация;

-Газ фазасынан химиялық және физикалық тұндыру әдістері (CVD, PVD) ;

-Лазерлік және катодты сәулелік өндеу

-3D басып шығару және аддитивті технологиялар;

-Нанотехнология (сол-гель процестері, плазмалық ою, self-assembly).

Әрбір технологияның өзіндік артықшылықтары бар, сонымен қатар масштабтауға, құрылымның біркелкілігіне, өндіріс шығындарына қатысты шектеулер бар.

Жаңа материалдарды әзірлеу және енгізу мәселелері

Ғылыми мәселелер:

-Құрылымның болжамдылығының жеткіліксіздігі-қасиеттері;

-Тұрақты фазалары бар көп компонентті жүйелерді құрудың қиындығы;

-Нано және мезодоңгейдегі материалдардың мінез - құлқы туралы білімнің шектелуі.

- Технологиялық мәселелер;
- Қымбат жабдықтың қажеттілігі;
- Қатты және сынғыш материалдарды өңдеудегі қиындықтар;
- Гетерогенді компоненттерді біріктіру кезіндегі проблемалар (мысалы, металл–керамика).

Экономикалық және ұйымдастырушылық мәселелер:

- Жаңа материалдардың жоғары құны;
- Сертификаттау мен стандарттаудың ұзақ жолы;
- =Іргелі ғылым мен өнеркәсіптік қабылдау арасындағы алшақтық

1.4 Алюминий қорытпаларының құрылымы мен фазалық құрамы

Алюминий (Al)-күміс түстес ақ металл. Ол 660,37 температурада кристалданады. 20 °С температурада тор параметрі $a = 0,40496 \text{ нм}$ болатын қырлары центрленген кубтық (ГЦК) торға ие және полиморфтық түрленулерге ұшырамайды. Таза алюминийдің тығыздығы (20 °С температурада) 2,699 г/см³ құрайды [1].

Алюминий төмен тығыздығымен, жақсы жылу өткізгіштігімен және электр өткізгіштігімен, жоғары пластикалылығымен және коррозияға төзімділігімен ерекшеленеді. Қоспалар алюминийдің бұл қасиеттерін нашарлатады. Салыстыру үшін 1-кестеде таза алюминий мен кейбір маңызды металдардың физикалық қасиеттері келтірілген.

1 кесте-Таза металдардың физикалық қасиеттері

Қасиеті	Al	Fe	Ni	Mn	Zr	Si
1	2	3	4	5	6	7
Кристалдық тор	ГЦК	ОЦК	ГЦК	Кубтық I	ГПУ	Алмаз тектес
Балқу температурасы, °С	660,37	1539	1455	1244	1855	1415
Полиморфты түрлендірулер ² , °С	-	911 (ГЦК) 1392 (ОЦК)	-	727 (Кубтық II) 1095(ГЦК) 1133 (ОЦК)	862 (ОЦК)	-
Қайнау температурасы, °С	2494	2872	2822	2119	4377	3249
Тығыздығы, г/см ³	2,698	7,86	8,89	7,47	6,506	2,33

Термиялық кеңею коэффициенті, $10^6 \cdot K^{-1}$	23,5	12,1	13,5	22	5,8	3,82
Меншікті электр кедергісі, $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	2,67	10,1	6,84	258	42,4	23
Жылу өткізгіштік, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$	238	78,2	88,5	157	22,7	152
1	2	3	4	5	6	7
Балку жылуы, Дж·г ⁻¹	405	272	302	267	220	1773
Булану жылуы, кДж·г ⁻¹	10,8	6,1	6,37	3,99	6,4	13,7
Жылу сыйымдылығы, кДж·кг ⁻¹ ·К ⁻¹	0,90	0,456	0,45	0,39	0,01	0,71
Серпімділік модулі, ГПа	70	220	196	198	97	162,7
Ескерту-бөлме температурасында ¹ ; Қыздыру кезінде ²						

Температураның жоғарылауымен алюминийдің тығыздығы төмендейді және балку нүктесінде қатты фаза үшін $2,550 \text{ г/см}^3$, балқыма үшін $2,368 \text{ г/см}^3$ құрайды. Температура жоғарылаған сайын жылу өткізгіштік (λ) төмендейді. Атап айтқанда, алюминий үшін тазалығы 99,95%

22°C $\lambda = 221,5 \text{ Вт (м} \cdot \text{К)}$,

ал 647°C $\lambda = 184,5 \text{ Вт (м} \cdot \text{К)}$ тең

Алюминийдің сызықтық кеңеюінің жылулық коэффициенті (α) температура жоғарылаған сайын артады:

-температурасы 27°C $\alpha = 23,3 \cdot 10^6 \text{ К}^{-1}$

-температурасы 227°C $\alpha = 26,8 \cdot 10^6 \text{ К}^{-1}$

-температурасы 427°C $\alpha = 30,6 \cdot 10^6 \text{ К}^{-1}$

Алюминийдің механикалық қасиеттері оның тазалық дәрежесіне, түрі мен өңдеу режимдеріне, температурасына, күйіне және басқа факторларға байланысты. Тазалық дәрежесі жоғарылаған сайын алюминийдің қаттылығы төмендеп, иілгіштігі артады. 99,25% таза металл үшін 20°C серпімділік модулі $69,65 \text{ ГПа}$, ал тазалығы 99,98% электролиттік тазартылған алюминий үшін - $65,71 \text{ ГПа}$. Температура жоғарылаған сайын алюминийдің беріктігі төмендеп, пластикалық қасиеті артады. 2-кестеде алюминийдің механикалық қасиеттерінің оның 20°C температурадағы тазалық дәрежесіне тәуелділігі көрсетілген. Қоспаның және пластикалық деформацияның жоғарылауы

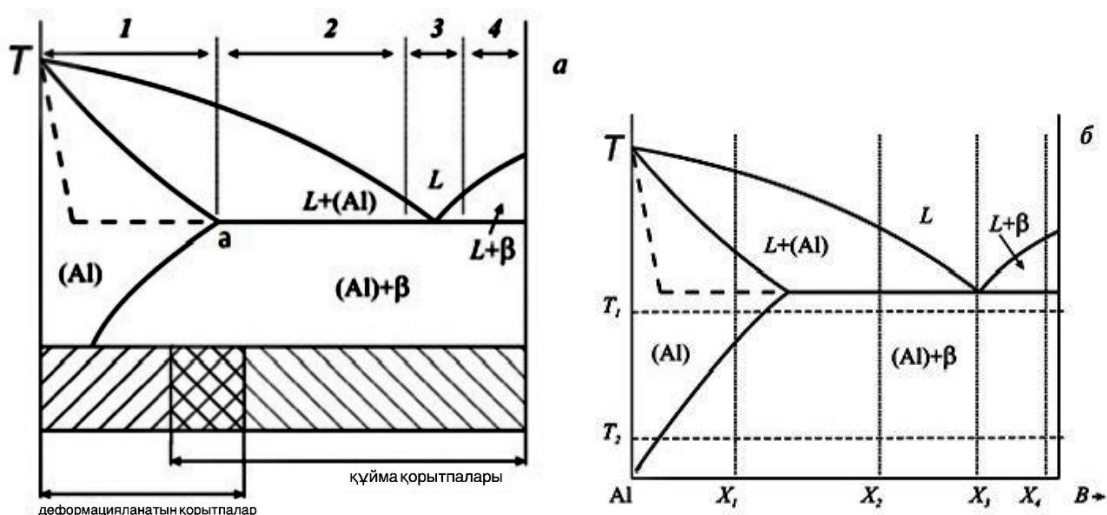
алюминийдің беріктігі мен қаттылығы сияқты механикалық қасиеттерін жақсартады [2].

Алюминийдің тұрақты қоспалары - темір, кремний, мыс, мырыш, титан. Қоспаның құрамына қарай бастапқы алюминий үш класқа бөлінеді: арнайы тазалығы А999 ($\leq 0,001\%$ қоспалар), жоғары тазалығы А995, А99, А97, А95 ($0,005 - 0,05\%$ қоспалар) және техникалық тазалығы А85, А8 және т.б. (0,15) қоспалар. Алюминийдің механикалық қасиеттері оның тазалығы мен күйіне байланысты. Қоспа мөлшерінің жоғарылауы және пластикалық деформация алюминийдің беріктігі мен қаттылығын арттырады [3].

Алюминийдің қатаю кезінде үлкен шөгуі болады (6%). Балқытудың жоғары жылуы және жылу сыйымдылығы алюминийдің сұйық күйінен баяу салқындатылуын жеңілдетеді, бұл алюминий құймалары мен оның қорытпаларының сапасын модификациялау, тазарту және басқа да технологиялық операциялар арқылы жақсартуға мүмкіндік береді.

Алюминий ауада және агрессивті ортада жоғары коррозияға төзімділігімен сипатталады. Өндіру және тұтыну көлемі бойынша (жылына 22 млн. тоннадан астам) ол барлық түсті металдар арасында сөзсіз көшбасшы болып табылады [18].

Тағайындалуына байланысты өнеркәсіптік алюминий қорытпалары құймалық және деформацияланатын түрлерге бөлінеді. Құймалық қорытпаларға, негізінен силумин жатады, ал деформацияланатын қорытпаларға негізінен дюралюминий қолданылады. Құю қорытпалары пішінді құймаларды өндіруге арналған; олардың құрамдарының диапазоны схемалық түрде 1-суретте көрсетілген [19]. Олар жақсы құю қасиеттеріне ие болуы керек: жоғары өтімділік және шашыраңқы шөгу бос жерлерін және кристалдану сызаттарын қалыптастыруға бейімділігі төмен. Дөңгелек және жалпақ құймаларды деформацияланатын қорытпалардан жартылай үздіксіз құю әдісімен алады, олар ыстық және суық қысыммен өңдеуге ұшырайды (прокат, престоу, штамптау, соғу және т.б.), әртүрлі жартылай фабрикаттар (пластиналар, қаңылтырлар, штангалар, құбырлар және т.б.) алынады. Көптеген өнеркәсіптік қорытпалардың композициялық диапазоны алюминийден а нүктесіне дейін созылады (1-сурет).



1 сурет-эвтектикалық типтегі Al – B күйінің схемалық диаграммасы (B – легирлеуші компонент)

a – өнеркәсіптік алюминий қорытпаларының құрамының облыстары және олардың төрт топқа жіктелуі; b – типтік қорытпалардың бейнелі түзу сызықтары және термиялық өңдеу температуралары;

Қазіргі уақытта стандартты құйма қорытпаларын (алюминий ғана емес) белгілеудің бірыңғай жүйесі бар, онда негізгі легирлеуші компоненттердің әріптік белгілері және олардың концентрациясы қорытпаның орташа құрамын бағалауды жеңілдетеді. ГОСТ 4784 – 97 бойынша құйылған алюминий қорытпасының маркасы A әрпінен басталады, одан кейін легирлеуші компонентті білдіретін әріптер: K – Si, M – Cu, Mg – Mg, C – Zn, H – Ni, Kd – Cd. Элемент белгісінен кейінгі сандар оның орташа құрамын көрсетеді. Егер элементтің концентрациясы 1,5% -дан аспаса, онда оны белгілегеннен кейін ешқандай сандар қойылмайды [11].

АҚШ-та (және көптеген басқа елдерде) құйылған алюминий қорытпаларын таңбалау үшін Алюминий қауымдастығының үш таңбалы жүйесі қабылданған (әдетте марканың басына ағылшын әріптері AA қойылады). Нүктеден кейінгі қосымша цифра және цифрадан бұрынғы әріптер (A, B, C және D) негізгі марканың модификациясын анықтайды. Алғашқы цифра легирлеу жүйесінің негізін көрсетеді: 4 – қос қорытпалы силумини, 3 – легирленген силумини, 2 – алюминий-медисті силумини, 5 – магнилийлер [4].

Сондай-ақ өнеркәсіптік алюминий қорытпалары үшін басқа белгілеу жүйелері бар: ұлттық (мысалы, Германиядағы DIN), ресейлік ТУ немесе шетелдік компанияның ішкі стандарты бойынша. Соңғыларының арасында *Modul Corporation Powertrain Systems* федералды компаниясының поршеньді силуминдердің FM белгісін атап өткен жөн [5].

Дегенмен, стандартты қорытпалардан басқа, таңбалануы айтарлықтай ерекше болуы мүмкін шектеулі қолданылатын көптеген салыстырмалы түрде жаңа өнеркәсіптік қорытпалар бар екенін атап өткен жөн.

Алюминий қорытпаларында, әдетте, олардың құрамында бірнеше элементтер мен қоспалар болады, [5, с. 42] олардың құрылымның әртүрлі параметрлеріне әсері 3-кестеде көрсетілген.

2 кесте – Өнеркәсіптік алюминий қорытпаларындағы легірлеуші элементтер мен қоспалардың әртүрлі құрылымдық элементтерге әсері бойынша жіктелуі [5].

Құрылым элементтері	Легирлеуші элементтер мен қоспалар
Қатты ерітіндіні легирлеу (Al) және ескіру кезінде күшейту фазаларының қалыптасуы	Cu, Mg, Si, Zn, Li, Mn
Ерімейтін (жасылту кезінде) эвтектикалық фазалардың түзілуі	Fe, Ni, Mn, Mg, Si, Cu, Be
Біріншілік кристалдардың түзілуі	Fe, Ni, Mn, Si, Zr, Cr, Ti
Жасыту кезінде дисперсоидтардың түзілуі	Mn, Zr, Cr, Ti, Sc, (Si, Cu)
Фазалық құрамға аз әсер ететін микроқоспалар	Be, Cd, Sr, Na, Ti, B
Ескертпе ¹ - бір элементтің қорытпадағы мөлшері мен құрамына байланысты әртүрлі жіктелуі мүмкін.	

Бұл элементтер олардың арасындағы қатынасқа байланысты әртүрлі фазаларды құра алады, олардың сипаттамалары 4-кестеде келтірілген.

3 кесте-Алюминий қорытпаларындағы негізгі фазалардың сипаттамалары

Формула	Белгіленуі	Құрамы, % (мас.)	Тығыздық, г/см ³
1	2	3	4
Si	(Si)	~100Si	2,3
Al ₈ Mg ₅	μ	37,3Mg	2,23
Al ₂ Cu	θ	52,5Cu	4,34
Al ₃ Fe	F(Al ₃)	37Fe	3,90
Al ₆ Mn	Al ₆	25,3Mn	3,09 – 3,27
Al ₃ Ni	ε	42Ni	3,95
Al ₃ Zr	-	53Zr	4,11
Al ₃ Sc	-	35,7Sc	3,01
Al ₇ Cr	-	21,6Cr	3,14
Al ₃ Ti	-	37,2Ti	3,31
Mg ₂ Si	Mg ₂ Si	63,2Mg, 36,8Si	1,88
MgZn ₂	M	84,3Zn, 15,7Mg	5,2
Al ₅ FeSi	β (Al ₅)	25 – 30Fe, 12 – 15Si	3,45
Al ₂ CuMg	α (Al ₈)	30 – 33Fe, 6 – 13Si	3,58
Al ₂ Mg ₃ Zn ₃	S	46Cu, 17Mg	3,55
Al ₂₀ Cu ₂ Mn	T	22 – 65Zn, 20 – 35Mg	~3,8
Al ₇ Cu ₂ Fe	Al ₂₀	12,8 – 19Cu, 19,8 – 24Mn	~3,6
Al ₉ FeNi	N(Al ₇)	36,9Cu, 16,2Fe	4,3
Al ₃ CuNi	T(Al ₉)	4,5 – 14Fe, 18 – 28Ni	3,4
Al ₇ Cu ₄ Ni	δ	~30Ni, ~31Cu	4,76

$\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$	γ	38,7 – 50,7Cu, 11,8 – 22,2Ni	5,48
$\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$	$\alpha_m(\text{Al}_{15})$	0 – 31Fe, 1,5 – 29Mn, 8 – 13Si	3,55
$\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6$	π	10,9Fe, 14,1Mg, 32,9Si	2,82
	Ω	20,3Cu, 31,1Mg, 27Si	2,79
Ескерту - ¹ Тепе-теңдік күй диаграммаларынан			

Өнеркәсіптік алюминий қорытпаларындағы негізгі легирлеуші элементтер кремний, магний, мыс, мырыш және азырақ марганец, темір және никель болып табылады. Арнайы мақсаттағы қорытпаларда (1420, 1440, 1450 және т.б.) негізгі легирлеуші компонент литий болып табылады. Бұл топтың қорытпаларының фазалық құрамына темір, кремний және марганец күшті әсер етеді, бұл 5-кестеде көрсетілген.

4 кесте-Темірмен, кремниймен және марганецпен төмен легирленген алюминий қорытпаларының құрылымындағы негізгі легирлеуші элементтер мен қоспалардың таралуы

Фазалар	Si	Fe	Mn
Алюминий қатты ерітінді			
(Al)	+	-	+
Екінші разряд			
(Si)	+	-	+
Al_6Mn	-	-	+
$\text{Al}_{15}\text{Mn}_2\text{Si}$	+	-	+
Кристалдану фазалары			
(Si)	+	-	-
Al_3Fe^1	-	+	-
Al_5FeSi	+	+	-
$\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$	+	+	-
$\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_2\text{Si}^1$	+	+	+
$\text{Al}_3(\text{FeMn})^1$	-	+	+
Ескерту - ¹ Бастапқы кристалдардың пайда болуы мүмкін			

Олардың барлығы алюминиймен эвтектикалық типтегі күй диаграммаларын құрайтындықтан, қорытпаларды (соның ішінде көп компонентті) құрылымы бойынша 4 топқа жіктеген жөн [17]:

1 – қатты ерітінді түріндегі қорытпалар (Деформацияланатын қорытпалардың басым көпшілігі, сондай - ақ Al-Cu, Al-Mg жүйелеріне негізделген құю);

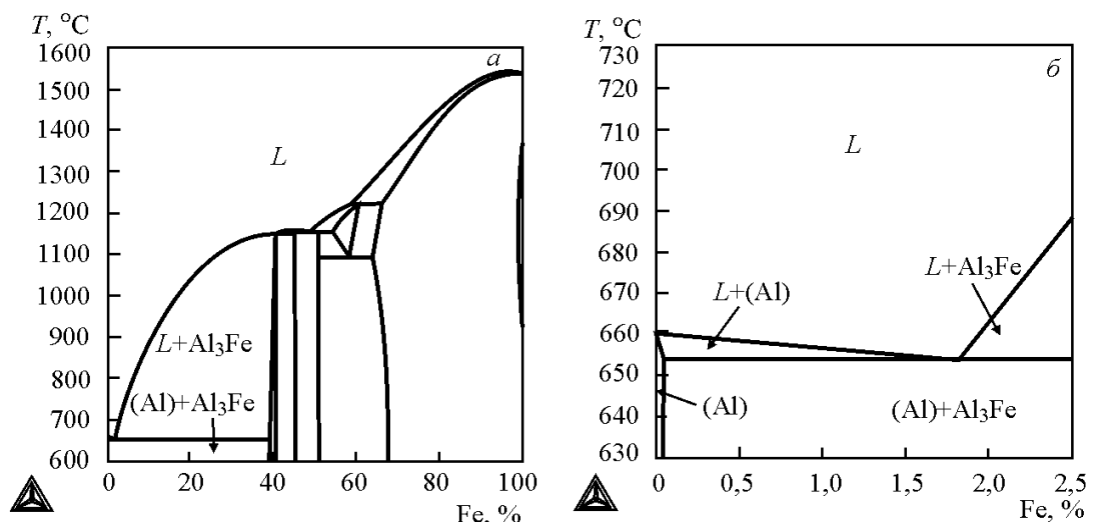
2-эвтектикалық қорытпалар (силуминдердің көпшілігі, мысалы, АК7 типі, сондай – ақ кейбір Деформацияланатын қорытпалар, атап айтқанда АК4-1 және аа8111 типі);

- 3-эвтектикалық қорытпалар (АК12 және АК12М2 типті силуминдер);
- 4-эвтектикалық қорытпалар (АК18 типті поршенді силуминдер).

Бұл бөлу дәстүрлі қорытпаларға өте жақсы қолданылады, бірақ көптеген эксперименттік, сондай-ақ кейбір өнеркәсіптік қорытпаларды қарастырған кезде оны мұқият қарау керек. Мысалы, алғашқы үш топтың кейбір қорытпаларының құрылымында темір қоспасының жоғарғы шегінде Fe фазаларының бастапқы кристалдары болуы мүмкін, яғни бұл қорытпаларды төртінші топқа жатқызуға негіз бар. Таңдалған топтарға тән қорытпалар 2-суретте көрсетілген [18].

Айта кету керек, жоғары тазалықтағы ең қарапайым өнеркәсіптік қорытпалардың фазалық құрамын Қос диаграммалар бойынша талдауға болады, ал көп жағдайда көп компонентті диаграммаларды қолдану қажет, өйткені легирлеуші элементтер мен қоспалар қорытпаның құрамына байланысты әр түрлі фазалардың бөлігі бола алады.

Негізгі легирлеуші элементтерді көп мөлшерде енгізу мүмкін, өйткені олар қатты күйдегі алюминийде айтарлықтай ерігіштікке ие, бұл қос күй диаграммаларынан шығады [5, с. 42].



2 сурет – Al-Fe күйінің диаграммасы
а - жалпы көрініс; б-алюминий жағындағы фрагмент

Легирлеуші элементтердің бірінші және негізгі қызметі-алюминийдің беріктігін арттыру(таза алюминийдің беріктігі тым төмен-60 МПа-дағы ерітінді). Қатайту қатты ерітіндінің пайда болуымен және көптеген жүйелерде – дисперсиялық қатаю арқылы жүзеге асырылады. Сонымен қатар, қорытпаның құю қасиеттері легирлеуші элементтердің құрамына байланысты, бұл олардың өнімділігін және соның салдарынан өнеркәсіптік пайдалану дәрежесін анықтайды [22].

1.1 Алюминий қорытпаларының жіктелуі:

1.Нығайту әдісі бойынша:

Деформацияланатын қорытпалар (суық немесе ыстық күйде өңделеді)

Құю қорытпалары (құймаларда қолданылады)

2.Легирлеуші элементтер бойынша:

Алюминий-мыс (Al-Cu)

Алюминий-магний (Al-Mg)

Алюминий-кремний (Al-Si)

Алюминий-мырыш-магний (Al-Zn-Mg)

Көп фазалы көп компонентті қорытпалар

3.Алюминий қорытпаларының кластары:

1 класстер-таза алюминий (>99%), электр өткізгіштік пен коррозияға төзімділік маңызды болған жерде қолданылады.

2 класстер -Al-Cu қорытпалары, беріктігі жоғары, бірақ коррозияға төзімділігі төмен. Авиацияда қолданылады.

3 класстер -Al-Mn қорытпалары, жақсы икемділікке ие, архитектурада қолданылады.

4 класстер -Al-Mg қорытпалары, коррозияға төзімді, әсіресе теңіз суында.

5 класстер -Al-Mg-Si қорытпалары, беріктігі мен коррозияға төзімділігі бойынша теңдестірілген. Құрылыс пен көлікте кеңінен қолданылады.

6 класстер -Al-Zn - Mg (- Cu), ең берік, әуе және ғарыш техникасында қолданылады.

5 Кесте - Алюминий қорытпаларының қолданылуы:

Қолдану саласы	Ерекшеліктері мен қолданылатын қорытпа түрлері	Қолдану саласы
Авиация және аэроғарыш техникасы	Жоғары беріктігі бар Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg-Cu қорытпалары (мысалы, 2024, 7075)	Авиация және аэроғарыш техникасы
Автомобиль жасау	Коррозияға төзімділігі жоғары қорытпалар (Al-Si, Al-Mg) — кузов панельдері мен қозғалтқыш бөлшектері үшін	Автомобиль жасау
Құрылыс және сәулет	Коррозияға төзімді қорытпалар (мысалы, 6063, 6082) — терезе жақтаулары, қасбеттер, құрылымдық профильдер үшін	Құрылыс және сәулет
Электротехника	Жоғары өткізгіштігі бар таза алюминий мен қорытпалар (мысалы, 1350) — сымдар мен шиналар үшін	Электротехника

Тамақ және орау өнеркәсібі	Жұқа алюминий табақтары (1xxx, 3xxx сериялары) — банкалар, фольга, қаптама үшін	Тамақ және орау өнеркәсібі
Кеме жасау	Al-Mg негізіндегі, коррозияға төзімді және берік қорытпалар — кемелер корпустары үшін	Кеме жасау
Теміржол көлігі	Вагоностроение үшін: қаптау, панельдер, қаңқа	Теміржол көлігі

1.5 Алюминий негізіндегі жаңа материалдар

Технологияның дамуымен және құрылымдық материалдарға қойылатын талаптардың қатаюымен жеңілдікті, беріктікті, коррозияға төзімділікті, сондай-ақ жоғары термиялық және механикалық тұрақтылықты біріктіре алатын жаңа, жетілдірілген алюминий материалдарын жасау қажеттілігі туындайды.

Материалтану ғылымының заманауи дамуы техника мен өнеркәсіптің әртүрлі салаларында нақты инженерлік міндеттерді орындауға бағытталған алюминий қорытпаларының жаңа буындарының пайда болуына әкелді. Мұнда материалдың құрылымы мен қасиеттерін микроскопиялық деңгейде басқаруға мүмкіндік беретін Al–Cu–Mg сияқты көп компонентті жүйелер ерекше рөл атқарады [16-19].

Жаңа алюминий қорытпалары келесі мақсаттарда әзірленуде:

- Беріктік пен тозуға төзімділікті арттыру;
- Ыстыққа төзімділік пен термиялық тұрақтылықты арттыру;
- Тығыздықтың төмендеуі;
- Дәнекерлеуді және өңдеуді жақсарту;
- Коррозияға қарсы қорғауды қамтамасыз ету.

Легирлеуші элементтердің әсері:

Мыс (Cu): қатайтатын фазаларды (Al_2Cu) құрайды, жоғары қаттылық пен беріктікті қамтамасыз етеді;

Магний (Mg): икемділікті, коррозияға төзімділікті жақсартады, S фазасының (Al_6Mg) түзілуіне қатысады;

Мырыш (Zn), кремний (Si), темір (Fe), никель (Ni) сияқты элементтерді қосқанда, материалдың қасиеттерін әртүрлі жұмыс жағдайларына дәл баптауға болады;

Al–Cu–Mg жүйесінің негізгі сипаттамаларынан басқа, алюминий материалдарының инженериясындағы заманауи жетістіктерді, сондай-ақ жақсартылған қасиеттері бар жаңа қорытпаларды қолданудың нақты салаларын қарастырады [20].

1. Нано күшейтілген композициялық материалдар

Көміртекті нанотүтікшелер (CNT), графен және наноөлшемді керамика қоспалары бар алюминий негізіндегі нанокөмposиттерді жасау жоғары температурада ультра жоғары беріктік пен тұрақтылыққа қол жеткізуге мүмкіндік береді. Олар аэроғарыш, микроэлектроника, сондай-ақ жылу өткізгіш субстрат ролінде перспективалы.

2. Микроэлектроникаға арналған ультра жұқа алюминий қорытпалары

Al-Cu-Mg жүйесі негізінде берілген электр сымдары мен механикалық сипаттамалары бар жұқа қабықшалы материалдар жасалады. Олар контактілі тректерде, чиптердің қаптамасында, сондай-ақ икемді электроникада қолданылады.

3. Титан, цирконий және скандий қоспалары бар алюминий қорытпалары

Мұндай қоспалар құрылымды тұрақтандыратын және беріктік қасиеттерін жақсартатын ұсақ дисперсті фазалардың пайда болуына әкеледі. Олар сондай-ақ Қозғалтқыштар мен электр станцияларында қолдануға қатысты ыстыққа төзімділікті айтарлықтай арттырады.

4. Al-Cu-Mg негізіндегі функционалды материалдар

Құрылымдық міндеттерден басқа, ерекше қасиеттері бар алюминий қорытпалары жасалады: магниттік, аморфты, Бактерияға қарсы. Мысалы, күміс пен мырышпен легирлеу биологиялық белсенділігі мен төзімділігі бар медициналық құралдар мен импланттарды жасауға мүмкіндік береді.

5. Ақылды қорытпалар

"Ақылды" алюминий материалдары сыртқы ортаның (температура, кернеу) әсерінен қасиеттерін өзгерте алады. Оларды адаптивті конструкцияларда, сенсорларда, аэродинамикалық қабықтарда қолдануға болады.

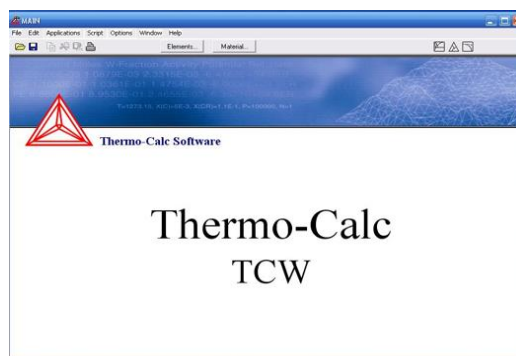
6. Қайта өңделетін алюминий материалдарының жаңа буыны

Алюминий өндірісінің тұйық циклдік жобалары және жоғары өнімділігі бар қайталама алюминий қорытпаларын жасау саланың көміртегі ізін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Al-Cu-Mg қасиеттерінің деградациясыз қайта балқытуға жарамды қорытпалар тұрақты инженерияның бөлігі болып табылады.

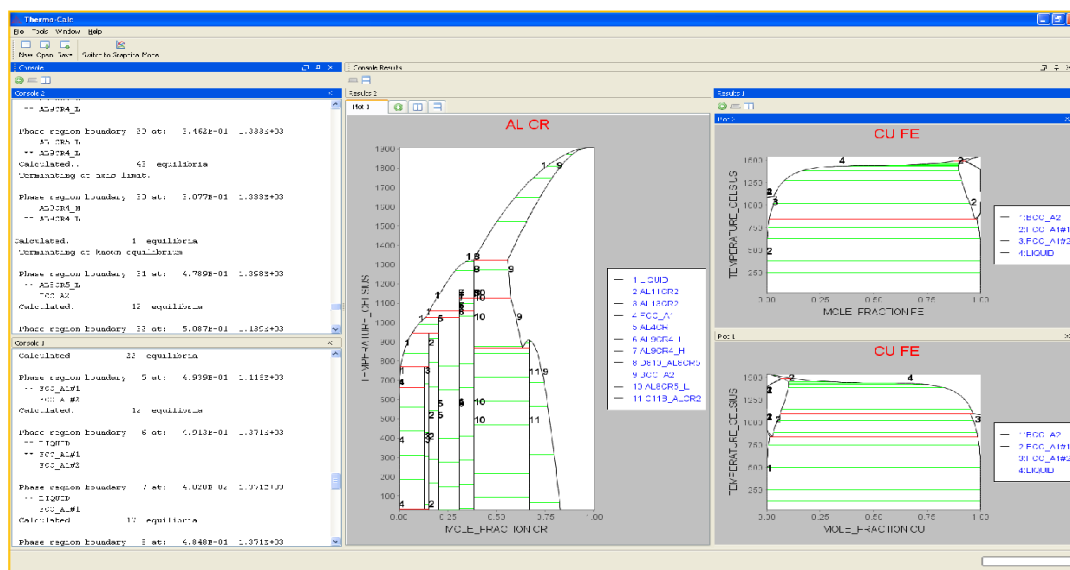
Алюминийге негізделген жаңа материалдарды дамыту тек механикалық қасиеттерді жетілдіру ғана емес, сонымен қатар болашақтың цифрлық және тұрақты технологияларына интеграциялау болып табылады.

1.6 Термодинамикалық модельдеу және Thermo-Calc

Thermo — Calc-көп компонентті жүйелердегі фазалық тепе-теңдікті есептеуге және талдауға арналған заманауи бағдарламалық жасақтама. Ол материалтану, металлургия, машина жасау және ғылыми зерттеулерде жаңа қорытпаларды жобалау және олардың әртүрлі температурада, қысымда және композицияларда мінез-құлқын болжау үшін кеңінен қолданылады [17].



2 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның жұмыс терезесі



4 сурет- Thermo-Calc есептеу процесі және графикалық Шығыс терезесі

Thermo-Calc термодинамикалық мәліметтер базасы негізінде жұмыс істейді, олардың әрқайсысында мыңдаған мүмкін фазалар мен элементтер арасындағы химиялық өзара әрекеттесулер туралы ақпарат бар [22].

- Фазалық диаграммалар (тепе-теңдік және теппе-теңдік емес)
- Берілген температурадағы фазалардың құрамы
- Фазалық түрленулердің балқу, басталу және аяқталу температуралары
- Изотермалар, изобарлар, псевдофазалық бөлімдер
- Жылу циклдарын есептеу (қыздыру, салқындату, қатаю, қартаю)

Бағдарламаның интерфейсі визуалды диаграммаларды құруға және тіпті *Al-Cu-Mg* сияқты күрделі көп компонентті жүйелер үшін талдау жасауға мүмкіндік береді. Thermo-Calc сонымен қатар есептеу мүмкіндіктерін кеңейтетін модульдерді қолдайды:

DICTRA - диффузиялық процестерді модельдеу үшін

TC — PRISMA-фазалық түрлендірулердің кинетикасын есептеу үшін

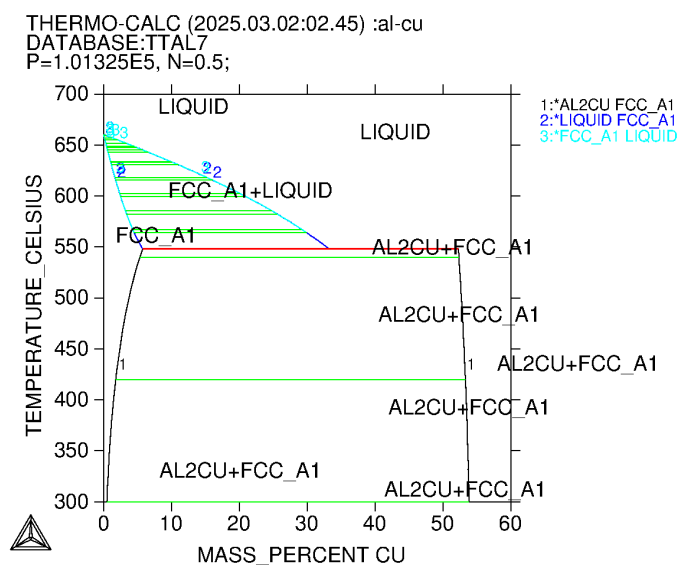
TC-Python-есептеулерді автоматтандыру және өздерінің ғылыми сценарийлеріне біріктіру

2.ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ

2.1 AL–Cu жүйесінің сипаттамасы

Al–Cu–Mg (алюминий–мыс–магний) жүйесі өнеркәсіпте ең көп зерттелген және қолданылатын үштік жүйелердің бірі болып табылады. Ол авиация және автомобиль өнеркәсібінде кеңінен қолданылатын 2xxx сериялы қорытпаларды қоса алғанда, жоғары беріктігі бар деформацияланатын алюминий қорытпаларының тұтас сериясының негізінде жатыр.

Алюминий (Al) негізгі матрица ретінде қызмет етеді және коррозияға төзімділікті, жеңілдікті және жақсы құю қасиеттерін қамтамасыз етеді. Мыс (Cu) қорытпаның беріктігін интерметаллидті қосылыстардың түзілуімен арттырады, мысалы θ -фазалар (Al_2Cu), олар қорытпаны қартаю арқылы күшейтеді. Магний (Mg) сонымен қатар беріктіктің жоғарылауына ықпал етеді және мыспен бірге қартаю және кейінгі қартаю процесінде маңызды рөл атқаратын S фазасын (Al_2CuMg) құрайды.



5 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған AL-Cu фазалық диаграммасы

Бұл суретте TTAL7 мәліметтер базасына негізделген Thermo–Calc бағдарламасы арқылы алынған AL–CU екілік жүйесінің фазалық диаграммасы көрсетілген.

Есептеудің негізгі параметрлері:

-Жүйе: Al–Cu

-Мәліметтер базасы: TTAL7

-Қысым: 1 атм (1. 01325E5 Па)

-Заттың жалпы массасы: 0.5 моль

Диаграмманың сипаттамасы:

-Х осі-Мыстың массалық үлесі (cu) пайызбен: 0-ден 60-қа дейін%

-Y осі-температура (°C): 300 °C-тан 700 °C-қа дейін

Диаграмма аймақтары:

1. Сұйық-тек сұйық фазаның тіршілік ету аймағы
2. FCC_A1 + LIQUID-сұйық және қатты Фазалар бір уақытта болатын екі фазалы аймақ
3. FCC_A1-алюминий негізіндегі біртекті қатты ерітінді
4. Al_2Cu + FCC_A1- Al_2Cu интерметаллидин шығаратын екі фазалы қатты аймақ

Негізгі сызықтар:

Ликвидус сызығы-сұйық күйден екі фазалы күйге өтудің жоғарғы шекарасы (сұйық → сұйық + FCC_A1)

Солидус сызығы-Толық қатты фазаға өту шекарасы (FCC_A1 немесе Al_2Cu + FCC_A1)

Көлденең сызықтар-эвтектикалық реакциялар сызықтары және Al_2Cu фазаларының түзілуі

Сипаттамалық нүктелер:

-33% cu аймағында және шамамен 548 °C температурада-эвтектикалық нүкте: кристалдану кезінде FCC_A1 және Al_2Cu қоспасының түзілуі.

-Cu > 50% құрамында-әр түрлі тұрақтылық температуралары бар Al_2Cu фазаларының түзілуі.

Фазалық түрлендірулердің мысалы:

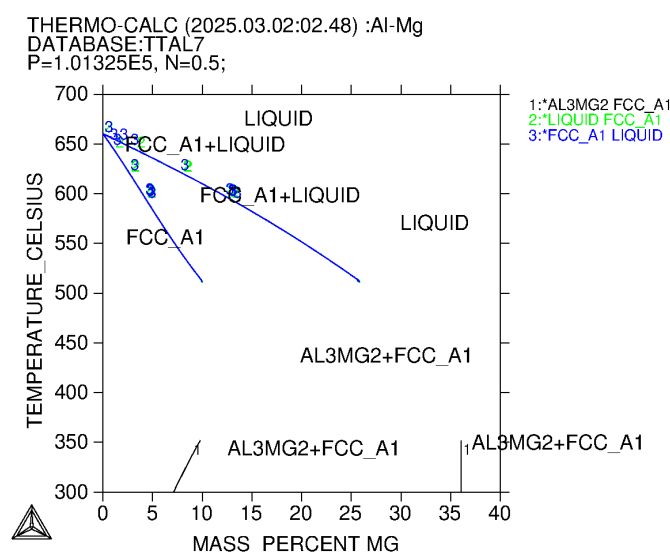
-10% Cu және 640 °C температурада қорытпа толығымен сұйық фазада (сұйық) болады.

-600 °C дейін салқындаған кезде FCC_A1 қатты фазасының түзілуі басталады (FCC_A1+ LIQUID аймағы).

-550 °C-тан төмен салқындаған кезде құрылым толығымен кристалданады (FCC_A1).

-30-50% Cu бар қорытпаларда Al_2Cu фазасы қосымша қалыптасады.

2.2 AL–Mg жүйесінің сипаттамасы



output by user Admin on 2025.03.02:02.48

6 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған AL-Mg фазалық диаграммасы

Бұл суретте TTAL7 мәліметтер базасына негізделген Thermo–Calc бағдарламасы арқылы алынған Al–Cu екілік жүйесінің фазалық диаграммасы көрсетілген.

Есептеудің негізгі параметрлері:

Жүйе: Al–Cu

Мәліметтер базасы: TTAL7

Қысым: 1 атм (1. 01325E5 Па)

Заттың жалпы массасы: 0.5 моль

Диаграмма сипаттамасы:

X осі–Мыстың массалық үлесі (Cu) пайызбен: 0-ден 60-қа дейін%

Y осі–температура (°C): 300 °C-тан 700 °C-қа дейін

Диаграмма аймақтары:

1. Сұйық-тек сұйық фазаның тіршілік ету аймағы
2. FCC_A1 + LIQUID-сұйық және қатты Фазалар бір уақытта болатын екі фазалы аймақ
3. FCC_A1-алюминий негізіндегі біртекті қатты ерітінді
4. Al₂Cu + FCC_A1-Al₂Cu интерметаллидин шығаратын екі фазалы қатты аймақ

Негізгі сызықтар:

Ликвидус сызығы-сұйық күйден екі фазалы күйге өтудің жоғарғы шекарасы (сұйық → сұйық + FCC_A1)

Солидус сызығы-Толық қатты фазаға өту шекарасы (FCC_A1 немесе Al₂Cu + FCC_A1)

Көлденең сызықтар-эвтектикалық реакциялар сызықтары және Al_2Cu фазаларының түзілуі.

Сипаттамалық нүктелер:

33% Cu аймағында және шамамен 548 °C температурада-эвтектикалық нүкте: кристалдану кезінде FCC_A1 және Al_2Cu қоспасының түзілуі.

- Cu > 50% құрамында-әр түрлі тұрақтылық температуралары бар Al_2Cu фазаларының түзілуі.

Фазалық түрлендірулердің мысалы:

-10% Cu және 640 °C температурада қорытпа толығымен сұйық фазада (сұйық) болады.

600 °C дейін салқындаған кезде FCC_A1 қатты фазасының түзілуі басталады (FCC_A1 + LIQUID аймағы).

550 °C-тан төмен салқындаған кезде құрылым толығымен кристалданады (FCC_A1).

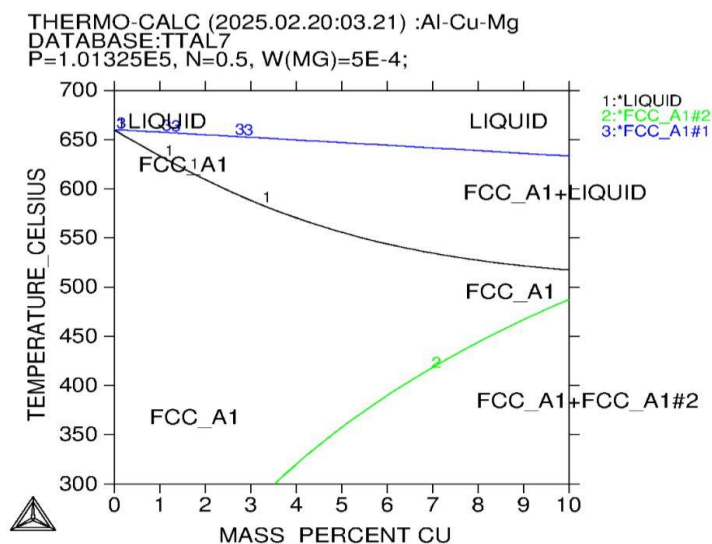
30-50% Cu бар қорытпаларда Al_2Cu фазасы қосымша қалыптасады.

Қорытынды:

1.Мыс құрамының өсуімен ликвидус температурасы төмендейді.

2. Al_2Cu фазасының түзілуі беріктік сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді.

2.3 Al–Cu–Mg жүйесінің сипаттамасы



7 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы

Есептеу шарттары:

Қысым: 1.01325×10^5 Па (атмосфералық)

Зат мөлшері (N): 0.5 моль

Mg массалық үлесі: 5×10^{-4} (өзгермейтін дерлік, яғни тұрақты Mg мазмұнында қарастырылады)

X осі бойынша: Cu массалық үлесі 0-ден 10-ға дейін

Y осі бойынша: температура 300°C -ден 700°C -ге дейін

Фазалық белгілер:

Сұйық-сұйық фаза.

FCC_A1-алюминийге тән текше көлемді орталықтандырылған торы бар қатты ерітінді. FCC_A1#1 және FCC_A1#2-FCC_A1 негізіндегі қатты ерітінділердің екі түрлі құрамын белгілейтін фазалар.

Фазалық аймақтардың сипаттамасы:

1.Сұйық аймақ (сұйықтық):

-Жоғары температурада (~650 °C жоғары).

-Диаграмманың оң жағында (Cu > ~3 масса.%), сұйық фаза жоғары температураға дейін болады.

2.FCC_A1 + сұйық аймағы (екі фазалы):

-500 °C пен 650 °C арасында орналасқан.

-Температураның төмендеуі қорытпаның қатаюына әкеледі.

-Cu жоғарылаған кезде қатаюдың басталу температурасы (ликвидус) төмендейді.

3.FCC_A1 аймағы:

-Cu және Mg қоспалары бар алюминийдің негізгі қатты фазасы.

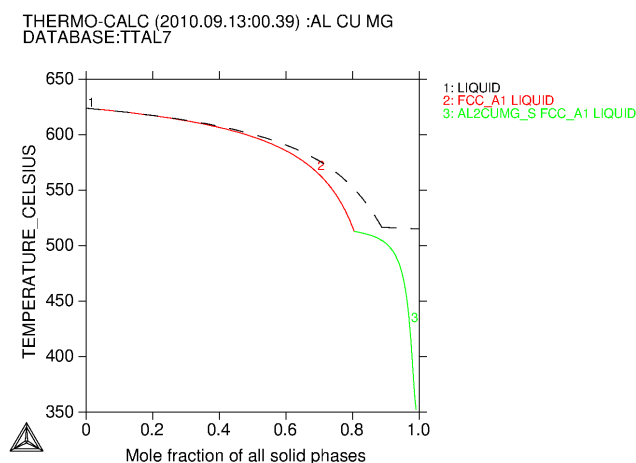
-Cu құрамына байланысты 500°C-550 °C төмен температурада байқалады.

4.FCC_A1 + FCC_A1#2 аймағы:

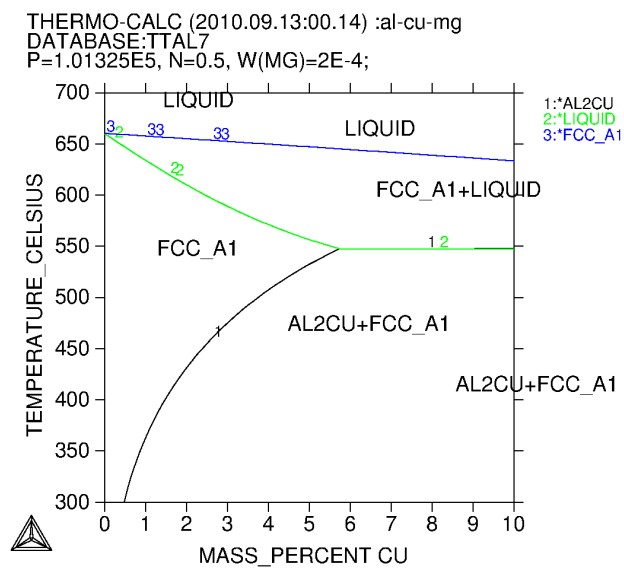
-Шамамен 350 °C-тан 500 °C-қа дейін.

-Белгілі бір мыс құрамындағы қатты ерітіндінің ішіндегі фазалардың мүмкін болатын ыдырауын немесе бөлінуін көрсетеді.

-Фазалық өзгерістерге немесе қатты ерітінділердің екінші түрінің бөлінуіне байланысты болуы мүмкін.

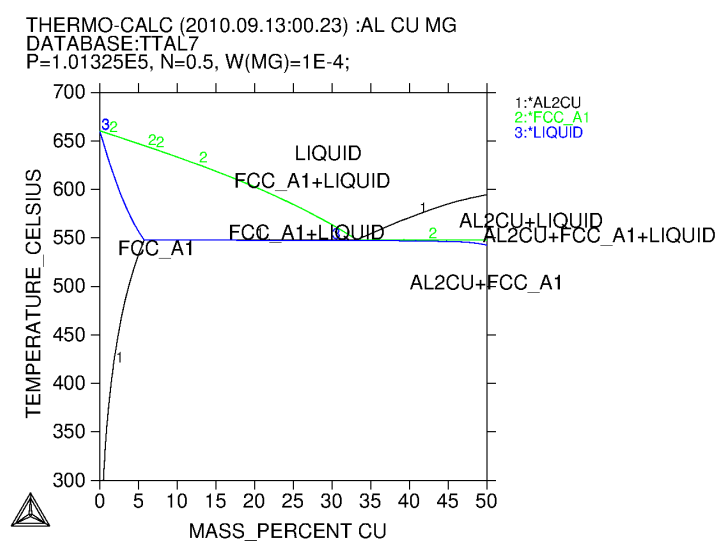


8 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы



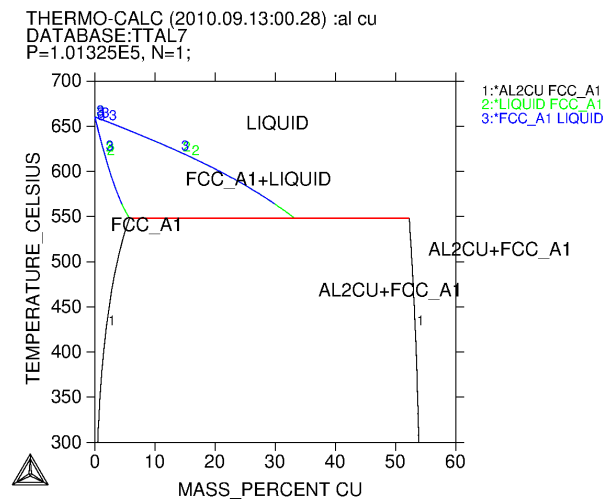
output by user Admin on 2010.09.13:00.14

9 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы



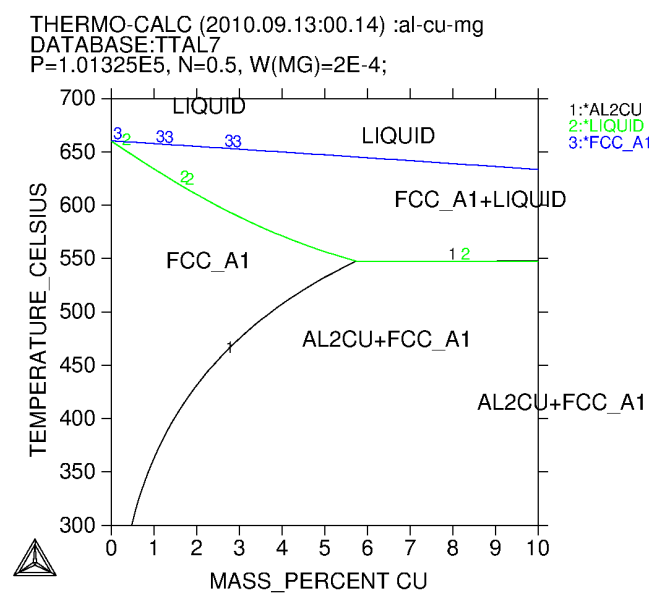
output by user Admin on 2010.09.13:00.23

10 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы

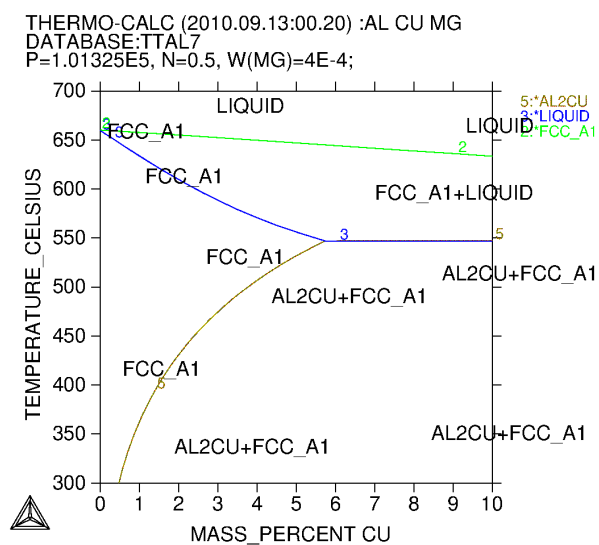


output by user Admin on 2010.09.13:00.28

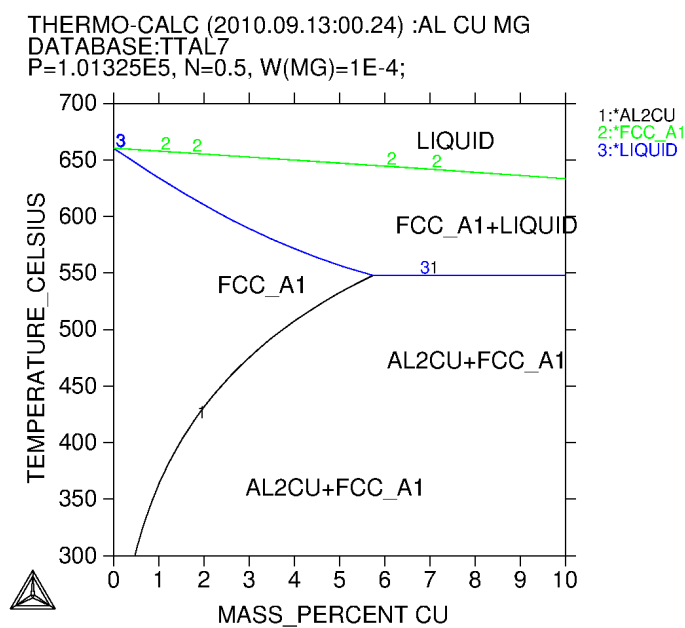
11 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu фазалық диаграммасы



12 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы
 Массалық құрамы: Al-94%; Cu-4%; Mg-2%

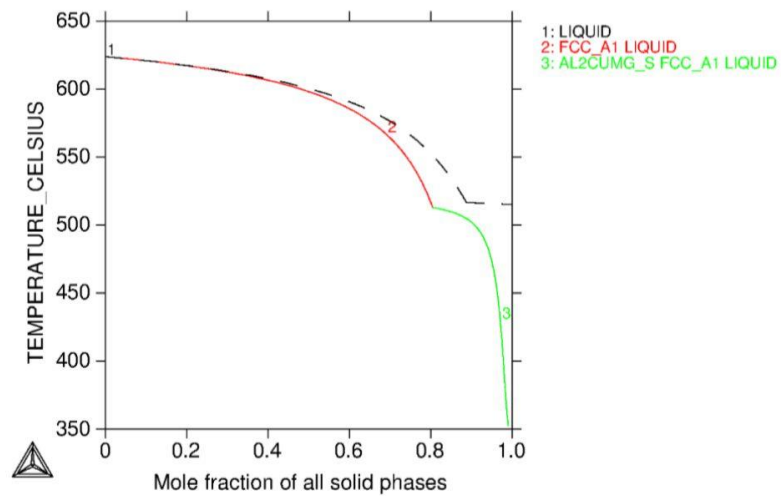


13 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы
 Массалық құрамы: Al-90%; Cu-6%; Mg-4%



14 сурет- Thermo-Calc бағдарламаның салынған Al-Cu-Mg фазалық диаграммасы
 Массалық құрамы: Al-96%; Cu-3%; Mg-1%

THERMO-CALC (2010.09.13:00.39) :AL CU MG
DATABASE:TTAL7



15 сурет- Al–Cu–Mg қорытпаларының балқу температурасын термодинамикалық модельдеу

Диаграмма Al–Cu–Mg үштік қорытпасының қатаю (қатты фазалардың түзілуі) және балқу (LIQUID) процесін сипаттайды. Жоғары температурада жүйе толық сұйық күйде (LIQUID), шамамен 600 °C. Температура төмендегенде алюминий негізіндегі қатты ерітінді (FCC_A1) және аралық қосылыс (Al_2CuMg) пайда болады. Қатты фазалардың үлесі артқан сайын балқу температурасы біртіндеп төмендейді, ал Mg және Cu қатысуы қатаю аймағын кеңейтеді.

3 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

3.1 Al–Cu–Mg көп компонентті қорытпаларының тепе-тең емес кристалдануы

Al–Cu–Mg сияқты көп компонентті алюминий қорытпаларының маңызды ерекшеліктерінің бірі-олардың тепе-теңдік емес кристалдану жағдайындағы әрекеті. Тепе-теңдіктің қатаюынан айырмашылығы, тез салқындаған кезде фазалар арасында толық термодинамикалық тепе-теңдік орнатылмайды. Бұл легирлеуші элементтердің қайта бөлінуіне және алынған материалдың қасиеттеріне тікелей әсер ететін байыту және сарқылу аймақтарының пайда болуына әкеледі.

Al–Cu–Mg жүйесінде тепе-теңдік емес кристалданудың келесі негізгі ерекшеліктері байқалады:

Бастапқы кристалдану фазасы — алюминийдің қатты ерітіндісі-FCC_A1. Бұл фаза сұйық фазадан 600 °C-тан жоғары температурада түзіледі.

Температура төмендеген кезде легирлеуші элементтер аралық аймақтарда шоғырлана бастайды. Магний (Mg) әдетте ертерек кристалданады және дендриттің ортасына жақын қалады, ал мыс (Cu) астық шекараларына қарай ығыстырылады.

Шекаралас аймақтарда Мыстың жиналуы 500 °C-тан төмен температурада Интерметаллидтердің, атап айтқанда S-фазасының (Al₂CuMg) түзілуіне әкеледі.

Thermo-Calc есептеулер көрсеткендей, мыс мөлшері 4-тен 8% - ға дейін және массалық бөліктің Mg~0,0005 тұрақты үлесі болған кезде, кристалданудың басталуы мен аяқталуы арасындағы айырмашылық шамамен 50 °C құрайды, бұл салыстырмалы түрде тар қатаю аралығын көрсетеді.

Практикалық маңызы:

Тез салқындаған кезде дендритті сегрегация пайда болады, бұл жергілікті фазалық стратификацияға жағдай жасайды.

Mg және Cu гетерогенді таралуы кейінгі гомогенизацияны қажет етеді.

Бұл әсерлерді түсіну металл аралық фазалардың түзілуін бақылауға және қатаю мен қартаюдан кейін оңтайлы механикалық қасиеттерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Al–Cu–Mg жүйесінің тепе-теңдік емес кристалдануын есептеу және талдау нақты кристалдану процестерін модельдеуге ғана емес, сонымен қатар термиялық өңдеу құрамы мен режимін реттеу арқылы қорытпалардың соңғы қасиеттеріне әсер етуге мүмкіндік береді.

Тепе-теңдік емес кристалдану-бұл фазалық түрленулер мен микроқұрылымдардың пайда болуы жылдам салқындату жағдайында жүретін процесс, бұл идеалды тепе-теңдік күйінен ерекшеленеді. Al–Cu–Mg сияқты көп компонентті алюминий қорытпаларында бұл әсер материалдың соңғы құрылымын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

Жылдам салқындату жағдайында:

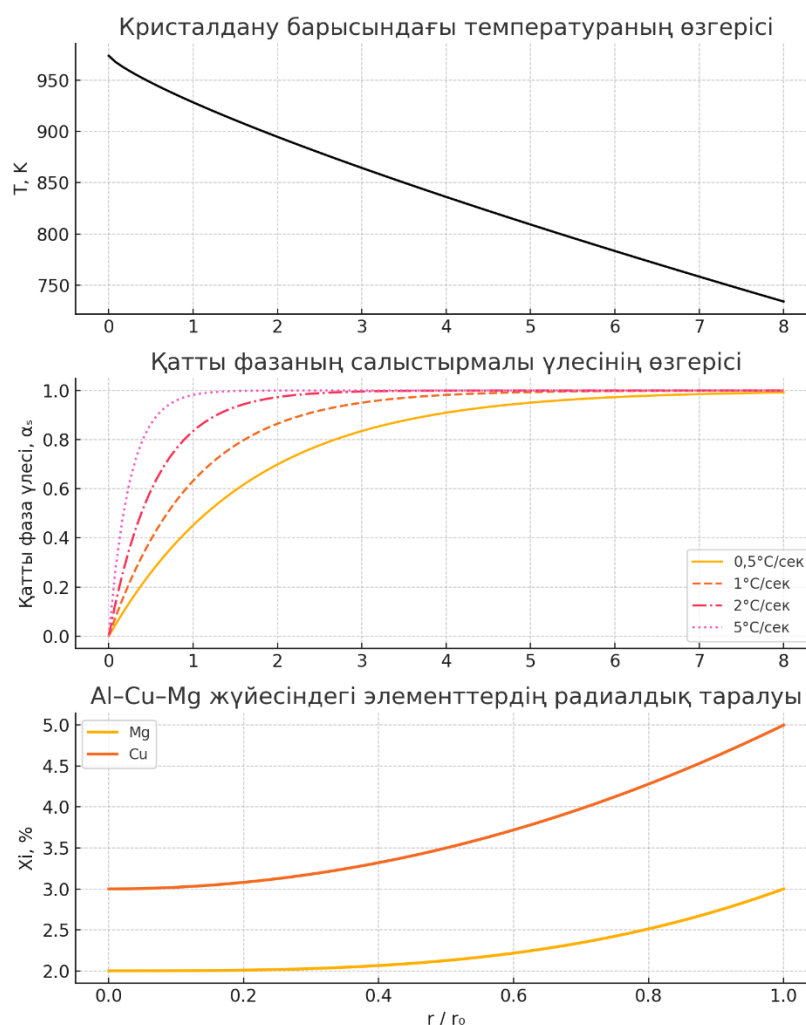
Кристалдану FCC_A1 фазасына негізделген қатты ерітіндінің түзілуінен басталады, мұнда алюминий негіз болып табылады. Ерігіштік температурасы жоғары мыс (Cu) дендрит шекараларына қарай ығыса бастайды, онда ол интерметаллидті фазалар түзе алады, мысалы θ -фаза (Al_2Cu) немесе S-фаза (Al_2CuMg). Магний (Mg) кристалдану жағдайларына байланысты дэндердің ортасында шоғырлануы немесе интерметаллидтердің түзілуіне қатысуы мүмкін. Тепе-теңдік емес кристалдану кезінде химиялық гетерогенділік интервалдарда пайда болады-бұл легирлеуші элементтердің жергілікті байытылуына әкеледі және кейінгі қартаю кезінде фазалық стратификацияның пайда болу тенденциясын арттырады.

Thermo-Calc бағдарламалық кешені арқылы алынған деректер мыс мөлшері 4-8% және магнийдің ~0,0005 массалық үлесінің тұрақты деңгейінде кристалдану аралығы 640-тан 590 °C-қа дейін екенін растайды.

Осылайша, Al-Cu-Mg жүйесіндегі тепе-теңдік емес кристалдануды модельдеу мүмкіндік береді:

- құрылымдағы компоненттердің нақты таралуын ескеріңіз
- металлидті фазалардың түзілу үрдісін бағалау
- қорытпалардың механикалық қасиеттері мен тұрақтылығын арттыру үшін термиялық өңдеуді және құрамын оңтайландыру

Бұл тәсіл авиациялық және көліктік қосымшалар үшін ерекше маңызға ие, мұнда қорытпалар күрделі пайдалану жағдайлары мен жылу жүктемелеріне ұшырайды.



16 сурет- Al–Cu–Mg таралу қисықтары

3.2 Al-Cu-Mg жүйесіндегі таралу қисықтарын талдау

Келесі суретте Al–Cu–Mg жүйесіндегі легирлеуші элементтердің (Mg және Cu) таралу қисықтарымен қатар кристалдану барысындағы температура, қатты фаза мөлшері және элементтердің концентрациясының өзгерісі көрсетілген.

Талдау:

-Жоғарғы графикте температураның (T) уақыт/кристалдану ұзақтығына байланысты өзгерісі көрсетілген. Температура біртіндеп төмендейді, бұл ерітіндінің *салқындауын* білдіреді.

-Ортаңғы графикте қатты фаза мөлшерінің (α_s) әртүрлі салқындау жылдамдықтарында (0,5°C/сек, 1°C/сек, 2°C/сек, 5°C/сек) қалай өзгередіні берілген. Салқындау жылдамдығы артқан сайын фазаның өсуі тезірек жүреді, бірақ тепе-теңдіктен алшақтайды.

-Төменгі график – Mg және Cu элементтерінің таралуы. $r/r_0 \rightarrow 1$ жақындағанда, екі элементтің де концентрациясы күрт артады. Бұл олардың дендрит аралық кеңістікте жинақталуын білдіреді.

Кристалдану кезіндегі салқындау жылдамдығы мен элементтердің таралуы құрылымның гетерогендігін анықтайды. Жоғары салқындау жылдамдығы фазалардың тепе-тең бөлінуіне кедергі жасап, Mg және Cu шеткі аймақтарда жиналады. Мұндай құрылым кейінгі термоөңдеу процестеріне әсер етуі мүмкін.

Бұл диаграмма Thermo-Calc негізіндегі модельдік мәліметтер бойынша салынған және мыс (Cu) концентрациясының өзгерісіне байланысты фазалық күйдің температураға тәуелділігін сипаттайды.

Талдау:

-*Қызыл сызық* (ликвидус): сұйық фазаның жоғары температурада тұрақты болатын шекарасын көрсетеді. Cu мөлшері артқан сайын, балку температурасы төмендейді.

-*Көк сызық* (солидус): қатты фазаның пайда болу бастамасын көрсетеді. Бұл сызықтың астында тек қатты фаза болады.

-*Жасыл үзік сызық* (FCC_A1 + FCC_A1#2): қатты ерітінді фазаларының өзара тепе-теңдігін көрсетеді, бұл аймақта фазалық расслоение жүруі мүмкін.

Боялған аймақтар:

-Сары: FCC_A1 + LIQUID: қатты және сұйық фазалар қатар кездесетін аралық.

-Көк: FCC_A1: қатты біртекті фаза облысы.

Бұл диаграмма Al–Cu–Mg жүйесінде мыстың фазалық құрамға қалай әсер ететінін көрсетеді. Қоспадағы Cu мөлшері артқан сайын кристалдану температурасы төмендеп, фазалық аралықтар кеңейеді. Бұл деректер термиялық өңдеуді жобалауда, легирлеуші элементтерді таңдауда және жоғары берікті алюминий қорытпаларын жасауда маңызды рөл атқарады.

3.3 Al–Cu–Mg қорытпаларының кристалдануын есептеу

Кесте 6 – Al–Cu–Mg қорытпаларының кристалдануын есептеу нәтижелері

Қорытпа	Тепе-теңдік күйде кристалдану температурасы (°C)	Фазалар (тепе-теңдік күйі)	Қатты фазаның салыстырмалы үлесі (тепе-теңдік)	Тепе-теңдіксіз күйде кристалдану температурасы (°C)	Фазалар (тепе-теңдіксіз күйі)	Қатты фазаның салыстырмалы үлесі (тепе-теңдіксіз)
Al–4%Cu–0.05% Mg	640 / 590 / 500	$L \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha + \text{FCC_A1\#2}$	0.60 $\rightarrow$ 1.00	640 / 580 / 490	$L \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha + \text{FCC_A1\#2} + \text{S-фаза}$	0.58 $\rightarrow$ 0.98
Al–6%Cu–0.05% Mg	630 / 575 / 495	$L \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha + \text{FCC_A1\#2}$	0.55 $\rightarrow$ 1.00	630 / 560 / 470	$L \rightarrow \alpha \rightarrow \alpha + \text{FCC_A1}$	0.52 $\rightarrow$ 0.96

					#2 + S- фаза	
Al– 8%Cu– 0.05% Mg	625 / 565 / 485	$L \rightarrow \alpha +$ FCC_A1 #2	$0.50 \rightarrow 1.00$	625 / 550 / 460	$L \rightarrow \alpha +$ FCC_A1 #2 + θ - фаза	$0.48 \rightarrow 0.95$
Al– 10%Cu – 0.05% Mg	620 / 555 / 470	$L \rightarrow \alpha +$ FCC_A1 #2	$0.45 \rightarrow 1.00$	620 / 540 / 450	$L \rightarrow \alpha +$ FCC_A1 #2 + θ + S-фаза	$0.43 \rightarrow 0.92$

ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған жұмыс барысында термодинамикалық есептеулер жүргізіліп, Thermo-Calc бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, Al–Cu, Al–Mg және Al–Cu–Mg жүйелері үшін фазалық диаграммалар жасалды. Алынған диаграммалар мыс пен магнийдің әртүрлі құрамындағы фазалық өзгерістерді, сондай-ақ температура режимдерін талдауға мүмкіндік берді.

Диаграммаларды практикалық қолдану тұрғысынан түсіндіруге ерекше назар аударылды. Негізгі фазалық аймақтар қарастырылды: бір фазалы, екі фазалы, сонымен қатар интерметаллидті қосылыстардың түзілу шекаралары (Al_2Cu , Al_3Mg_2). Берілген температурадағы фазалық үлестердің есептеулері келтірілген, қорытпалардың кристалдануының басталу және аяқталу температуралары анықталған.

Екілік және үштік диаграммаларды салыстырмалы талдау легирлеуші элементтердің қосылуы ликвидус пен солидус сызықтарының орналасуына, сондай-ақ кристалданатын фазалардың құрамына айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетті. Thermo-Calc бағдарламасын пайдалану нақты салқындату жағдайында қорытпалардың әрекетін дәл модельдеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері берілген пайдалану қасиеттері бар жаңа алюминий қорытпаларын әзірлеуге негіз болып табылады. Олар жеңіл, берік және коррозияға төзімді материалдар қажет болатын авиация, көлік, энергетика және басқа салаларда қолданыла алады.

Осылайша, жүргізілген зерттеу металл қорытпаларының қасиеттерін ғылыми болжау құралы ретінде термодинамикалық модельдеу мен фазалық талдаудың тиімділігін растады.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

1. ГЦК- Гранцентрлік кубтық тор
2. ОЦК- Көлемцентрлік кубтық тор
3. DICTRA- Диффузия арқылы бақыланатын түрленулер (Diffusion Controlled TRAnsformations)

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1.Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства сплавов / пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. - 640 с.
- 2.Аменова А.А. Теоретические и экспериментальные исследования фазового состава, структуры и свойств сплавов системы Al-Ni-Fe-Mn-Zr-Si: дис. ... доктора PhD – Алматы, 2014. - 141 с.
- 3.Промышленные алюминиевые сплавы: справ. / под ред.Алиева С.Г., Альт М.Б., Амбарцумян СМ .и др. - 2-е изд., -М.: Металлургия, 1984. - 528с.
- 4.Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. - 271 с.
- 5.Белов Н.А. Фазовый состав алюминиевых сплавов. - М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 392 с.
- 6.Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. - М.: МИСиС, 2005. - 376 с.
- 7.Philips H.W. L. Annotated equilibrium phase diagrams of some aluminum alloy systems. – London: Inst. Met. Monograph, 1959. – Vol. 25. – P. 86
- 8.Ghosh G. Ternary alloys / ed. By G. Petzow and G. Effenberg. – Weinheim: VCH, 1992. - Vol. 5. – P. 394-438.
- 9.Воронцова Л.А. Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях. —М.: Энергия, 1971. – 224 с.
- 10.Осинцев О.Е., Конкевич В.Ю. Высокопрочные быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы систем Al-Zn-Mg и Al-Zn-Mg-Cu // Технология легких сплавов. – 2010. - №1. – С.157-163.
- 11.Применение алюминиевых сплавов: справ. / по ред. Альтман М.Б., Анд Г.Н., Арбузов Ю.П.и др.-М.: Металлургия, 1985. - 344с.
- 12.Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник / Под ред. Ф Квасова, И.Н.Фридляндера. - М.: Металлургия, 1984. –528с.
- 13.Матвеев Ю.В., Гаврилова В.П., Баранов В.В. Легкие проводниковые материалы для авиапроводов // Кабели и провода. – 2006. – № 5 (300). – С.22-23.
- 14.Добаткин В.И., Елагин В.И., Федоров В.М. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. - М.: ВИЛС, 1995. – 341 с.
- 15.Крупотхин Я., Гохштейн М. Влияние малых добавок церия, железа, кобальта и никеля на механические свойства и электропроводность алюминия //Металловедение и термическая обработка металлов. -1966. - № 8. – С 42-49.
- 16.Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: справ. / под ред. Елагина В.И., Ливанова В.А. - М.: Металлургия, 1984. - 408 с.
- 17.Алюминий. Металловедение, обработка и применение алюминиевых сплавов: справочник / пер. с англ.- М.: Металлургия, 1972. – 664 с.
- 18.Алюминий. Свойства и физическое металловедение: справочник. под ред. Дж. Хэтча. - М.: Металлургия, 1989. – 425с.

19.Захаров М.В., Лисовская Т.Д.. Влияние различных элементов на электропроводность, твердость и температуру рекристаллизации алюминия марки АВ // Известия вузов «Цветная металлургия». – 1965. – № 3. – С 15-19.

20.Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А.. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: МИСиС, 1999. – 416с.

21.Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. - М.: МИСиС, 1994. - 480 с.

22.Uliazs P., Knych T., Mamala A., Smyrak B. Investigation in Properties Design of Heat Resistant AlZrSc Alloy Wires Assigned for Electrical Application // Aluminium Alloys: Their Physical and Mechanical Properties. - 2008, - P. 248-255.