

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ 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

Әнапия Ылғар

«Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және
құрылымдық өзгерістерді олардың химиялық құрамы мен температурасына
байланысты зерттеу.»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

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

Алматы 2025

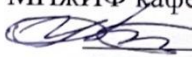
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МНЖИФ кафедра меңгерушісі
 Какимов У.К.
« 05 » 06 2025 ж.

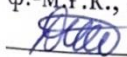
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

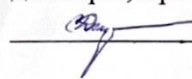
Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың химиялық құрамы мен температурасына байланысты зерттеу»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Әнапия Ы.

Пікір беруші:
Фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар
зертханасының меңгерушісі,
ф.-м.ғ.к., профессор
 Дмитриева Е.А.

Ғылыми жетекші:
Техника ғылымдарының
докторы, профессор
 Смагулов Д.У.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ 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: Әнапия Ылғар

Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың химиялық құрамы мен температурасына байланысты зерттеу.»

Университет ректорының «23» қараша 2022 жылғы №408-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «05» 06 2025 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Ұсынылған негізгі әдебиет 30 атаудан тұрады.

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИС-МАТИ, 2009, 520 с.
2. Appel F., Paul J.D.H., and Oehring M. «Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology», Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, 2011, 745 p.

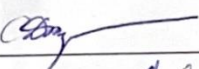
Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

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



Әнапия Ы.

Күні

« 05 » 06 - 2025

6B07109- «Инженерлік физика және материалтану» мамандығы
бойынша Әнапия Ылғардың ««Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін
фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың химиялық құрамы мен
температурасына байланысты зерттеу»
тақырыбында орындаған дипломдық жобасы туралы

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІСІНІҢ ПІКІРІ

Ұсынылып отырған дипломдық жұмыста көп компонентті титан қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылысын зерттеу үшін, замануи есептеу бағдарламасы -Thermo-Calc қарастырылған. Титан негізіндегі қорытпалар авиацияда, химия өнеркәсібінде, машинақұрастыруда және басқа да салаларда кеңінен қолданылады. Олардың қасиеттері химиялық құрамына және құрылысына 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 титан негізіндегі көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын есептеп, тұрғызу болды.

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

Алынған нәтижелердің негізінде, титан қорытпаларында мына төмендегідей фазалық және құрылымдық өзгерістер орын алатыны көрсетілген. Легірлеуші элементтердің титандағы еру шектері өзгереді. Ti-Al, Ti-Nb, Ti-Mo, Ti-Al-Nb-Mo системаларының 400–1800°C температура арасында қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылысы зерттелген.

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

Әнапия Ылғардың дипломдық жобасы «Жақсы» деген бағаға ылайық деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

т.ғ.д., профессор

(лауазымы, оқу дәрежесі, атағы)

Д.Ұ. Смағұлов

(қолы)

«05» 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: Әнапия Ылғар

Тақырыбы: : Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың химиялық құрамы мен температурасына байланысты зерттеу

Жетекшісі: Смагулов Д.У.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0,52

Дәйексөз (35): 0,1

Әріптерді ауыстыру: 7

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 3

Ақ белгілер: 0

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

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

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагият 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 плагияттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагият белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

30.05.2025



Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

РЕЦЕНЗИЯ

«Дипломдық жұмыс» бойынша

Әнапия Ылгар

6B07109-Инженерлік физика және материалтану

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

Орындалды:

а) Графикалық бөлім _____ парақтарда

б) түсіндірме жазба _____ беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

1.Графиктердің анықтығы – кейбір диаграммаларда түсіндірулер (легенда, белгілеулер) толық көрсетілмеген;

2.Құрылымдық талдау – құрылымдық өзгерістер (мысалы, $\beta \rightarrow \alpha$ мартенситтік түрлену) толық сипатталмаған немесе микроструктуралық деректермен толықтырылғаны жөн;

3.Әдебиетке сілтемелер – кейбір тұжырымдар әдебиетсіз келтірілген; нақты дереккөздермен толықтыру ұсынылады.

Жұмысты бағалау

Бұл дипломдық жұмыс қазіргі заманғы жоғары температураға төзімді материалдар саласындағы өзекті ғылыми мәселелердің біріне арналған. Ti-Al-Nb-Mo жүйесі — авиация, энергетика және ғарыш салаларында қолданылатын β -стабилизаторлармен легирленген титан қорытпаларының негізін құрайды. Жұмыста бұл көпкомпонентті жүйеде жүретін фазалық өзгерістер термодинамикалық есептеулер арқылы қарастырылып, олардың температура мен құрамы өзгерген кездегі құрылымдық ерекшеліктері талданған.

Зерттеу барысында автор Thermo-Calc бағдарламасын пайдалана отырып, Ti-Al-Nb-Mo жүйесіне тән фазалық диаграммалар тұрғызған. Жүйенің әртүрлі концентрация диапазонында α , β , және интерметалдық фазалардың (мысалы, Ti-Al, TiAl, B2-фаза) түзілу аймақтары анықталып, фазалық тұрақтылық шекаралары сипатталған. Сонымен қатар, жұмыста алынған есептік мәліметтер әдеби деректермен салыстырылып, олардың сәйкестігі бойынша қорытындылар жасалған.

Дипломдық жұмыс 45% деген бағаға лайық деп есептеймін. Меніңше, студент Әнапия Ылгар 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,



[Signature]

Дмитриева Е.А.

06

2025 ж.

ҚазҰТУ 706-17 Ү. Рецензия



АҢДАТПА

Бұл жұмыста Ti-Al-Nb-Mo жүйесіне негізделген титан қорытпаларындағы фазалық және құрылымдық өзгерістер олардың химиялық құрамы мен температураға байланысты зерттелді. Зерттеу барысында қорытпаларда болатын фазалық өзгерістерді анықтау үшін термодинамикалық есептеулер мен фазалық диаграммалар пайдаланылды. Құрылымдық талдау әдістері (металлография, термиялық талдау және рентгендік фазалық талдау) арқылы әртүрлі температураларда фазалардың пайда болу мен еру үрдістері қарастырылды. Алынған нәтижелер титан қорытпаларын жоғары температурада пайдалануға бейімдеу, сондай-ақ механикалық және термиялық қасиеттерін оңтайландыру үшін маңызды болып табылады.

АННОТАЦИЯ

В данной работе исследованы фазовые и структурные изменения в титановых сплавах на основе системы Ti-Al-Nb-Mo в зависимости от их химического состава и температуры. Для анализа фазовых превращений были использованы методы термодинамического моделирования и построения фазовых диаграмм. Также применялись экспериментальные методы — металлографический анализ, термический анализ и рентгенофазовый анализ — для изучения процессов образования и растворения фаз при различных температурах. Полученные результаты важны для оптимизации свойств титановых сплавов и их применения в условиях высоких температур.

ABSTRACT

This study investigates the phase and structural transformations in titanium-based alloys of the Ti-Al-Nb-Mo system, depending on their chemical composition and temperature. Thermodynamic modeling and phase diagram construction were used to identify phase transitions. Structural changes were analyzed through metallography, thermal analysis, and X-ray diffraction to observe phase formation and dissolution at various temperatures. The findings contribute to the optimization of high-temperature performance and mechanical properties of titanium alloys for advanced engineering applications.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
	ӘДЕБИ ШОЛУ	10
1.1	Қазіргі титан қорыталары және оның болашағы	10
1.2	Өнеркәсіптікегі титан негізіндегі қорытпалар	13
1.3	Легирлеуші элементтің титан қорытпасының қасиетіне әсері	14
2	ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ	17
2.1	Ti-Al-Nb-Mo негізіндегі лигатураларды дайындау әдістемесі	17
2.2	Титан қорытпасының үлгілерін термиялық өңдеу әдісі	18
2.3	Ti-Al-Nb жүйелерінің политемиялық қималарын талдау	20
2.4	Көп компонентті Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің фазалық диаграммаларын компьютерлік есептеу әдісі	21
3	ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ	30
3.1	Екілік жүйесінің фазалық диаграммасын талдау	30
3.2	Ti-Al-Nb-Mo көпкомпонентті жүйесінің термодинамикалық модельдеуі нәтижесінде алынған фазалық диаграмма	35
	ҚОРЫТЫНДЫ	39
	ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	40
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	41

КІРІСПЕ

Материалтану және металлургия саласындағы көп компонентті жүйелердің физика-химиялық қасиеттерін терең түсіну жаңа жоғары температуралы, жеңіл және беріктігі жоғары қорытпаларды жасауға негіз болады. Бұл тұрғыда титан негізіндегі жүйелер, әсіресе Ti-Al-Nb-Mo композиттік қорытпалары қазіргі энергетика және машина жасау салаларында үлкен маңызға ие. Мұндай қорытпалар құрылымдық тұрақтылықпен, ыстыққа төзімділікпен, коррозияға төзімділікпен сипатталады.

Көп компонентті қорытпалардағы фазалық тепе-теңдікті, олардың термиялық өңдеуге және кристалдану процестеріне реакциясын дәлірек болжау үшін заманауи есептеу құрылғыларын қолдану қажет. Соңғы жылдары ғылыми орталықтарда кеңінен қолданылып келе жатқан Thermo-Calc бағдарламасы осы мақсаттар үшін өте қолайлы. Бағдарлама термодинамикалық модельдеуге негізделген және тепе-теңдік фазаларының диаграммаларын, термиялық өңдеу процестерін, сондай-ақ әртүрлі жүйелердегі кристалдану және диффузия құбылыстарын болжауға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың мақсаты-Thermo-Calc бағдарламасын және оларды ғылыми талдауды қолдана отырып, көп компонентті Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің фазалық диаграммаларын құру. Бұл бағдарламаны әзірлеу жаңа қорытпаларды одан әрі жобалауда және олардың қызмет ету мерзімін болжауда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, Thermo-Calc бағдарламасы арқылы алынған есептеулер қорытпаларды термиялық өңдеу температурасын нақтылауға және өндірістік процестерді оңтайландыруға көмектеседі.

Жұмыс барысында фазалық тепе-теңдік, сұйық және қатты температура, сондай-ақ эвтектоидтық және перитектикалық реакциялар қарастырылды.

1.ҚАЗІРГІ ТИТАН ҚОРЫТАЛАРЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ БОЛАШАҒЫ

1.1 Өнеркәсіптікегі титан негізіндегі қорытпалар

Титан және оның қорытпалары қазіргі материалтану саласындағы үлкен стратегиялық маңызы бар материалдардың қатарына жатады. Титан өзінің жоғары меншікті беріктігіне, салыстырмалы түрде төмен тығыздығына, коррозияға төзімділігіне және биоүйлесімді қасиеттеріне байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Атап айтқанда, титан қорытпалары аэроғарыштық инженерия, медициналық имплантология, химия өндірісі, энергетика және теңіз техникасы сияқты салаларда үлкен сұранысқа ие. Титанның α -фазасы алтыбұрышты тығыз оралған тор құрылымымен сипатталады және төмен температурада тұрақты, ал жоғары температурада титан β -фазаға өтеді, оның құрылымы центрленген көлемі бар текше торға сәйкес келеді. Бұл полиморфты түрлендірулер титан қорытпаларының құрылымдық және жылу қасиеттеріне тікелей әсер етеді [1].

Қазіргі уақытта титан қорытпалары химиялық құрамына, фазалық құрылымына және қолдану мақсатына қарай бірнеше топқа бөлінеді. Атап айтқанда, α -қорытпалар коррозияға төзімділігімен ерекшеленсе, β -қорытпалар жақсы термиялық өңдеуден өтеді және жоғары беріктікке ие. Екі фазалы $\alpha+\beta$ қорытпалары қазіргі уақытта ең көп таралған түрлердің бірі болып табылады, өйткені олар механикалық және технологиялық сипаттамалардың тиімді үйлесімін қамтамасыз етеді [2]. Сонымен қатар, жоғары температурада никель негізіндегі суперқорытпаларға балама ретінде γ -Ti-Al сияқты Ti-Al негізіндегі металлаларлық қосылыстар зерттелуде [3].

Титан қорытпаларының қолдану аясы кең. Авиация және ғарыш салаларында олар жоғары температура мен жүктемелерге төтеп бере алатын құрылымдық элементтерді өндіру үшін қолданылады. Медициналық мақсатта таза титан және кейбір биоүйлесімді қорытпалар тіс импланттары, буын протездері және хирургиялық құралдар сияқты өнімдерде қолданылады. Химия және энергетика салаларында титанның қышқылдарға, сілтілерге және теңіз суларына төзімділігі оны реакторлар мен жылу алмастырғыштарда қолдануға мүмкіндік береді. Титанды автомобиль және кеме жасау өнеркәсібінде де қолдану материалдың салмағын азайту және ұзақ мерзімді беріктікке қол жеткізу үшін өте маңызды [4].

Қазіргі материалтану титан қорытпаларының қасиеттерін жақсартуға бағытталған бірнеше инновациялық бағыттарды дамытуда. Олардың ішінде микроқорытпа тәсілі маңызды рөл атқарады. Бұл әдісті қолдана отырып, қорытпа құрылымын тұрақтандыруға және оның механикалық сипаттамаларын жақсартуға болады [4-5]. Жаңа зерттеулер құрылымдық және фазалық біркелкілік пен жұмыс істеу сенімділігін арттыруда біріктірілген микроқорытпа әдісінің тиімділігін көрсетеді.

Сонымен қатар, қазіргі уақытта Ti-Al жүйесіне негізделген металлаларлық қосылыстар белсенді түрде зерттелуде. Бұл жүйеде алюминийді титанға легирлеуші зат ретінде қосу $\alpha \rightarrow \beta$ түрлендіру температурасының

жоғарылауына әкеледі, мысалы, таза титан үшін температура 1155 К болса, ол 32 вт құрайды. Al құрамындағы қорытпа үшін ол 1776 К дейін артады. бұл жүйеде α -Ti, β -Ti, α_2 -Ti-Al және γ -Ti-Al фазаларымен бірге $TiAl_2$, Ti_2Al және $TiAl_3$ сияқты интерметалдық қосылыстар түзіледі. Мұндай қорытпалар жоғары температурада жұмыс істейтін авиациялық және энергетикалық жүйелер үшін өте маңызды.

Қазіргі уақытта титан қорытпаларын өндіруде 3D басып шығару сияқты аддитивті технологиялар ерекше орын алады. Титан ұнтағынан күрделі геометриялық бөлшектердің селективті лазерлік балқыту немесе электронды сәулені балқыту арқылы тікелей түзілуі өндіріс тиімділігін арттырып, қалдықсыз технологияларға жол ашуы мүмкін. Бұл тәсіл өнімдерді жеке тапсырыстар бойынша, әсіресе авиация және медицина салаларында өндіруге мүмкіндік береді [5].

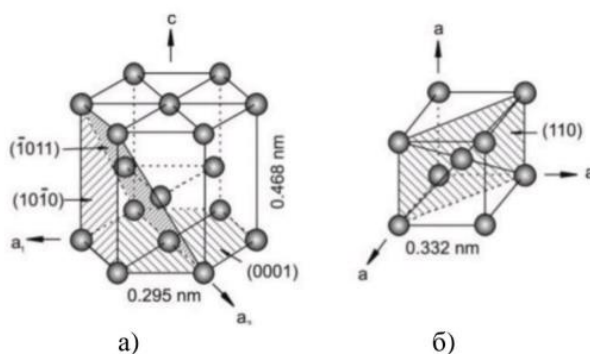
Болашақта титан қорытпаларының рөлі арта беретіні сөзсіз. Ғарыштық технологиялардың дамуы, медициналық имплантологияға деген сұраныстың артуы және энергия тиімділігін арттыру қажеттілігі Титанды негізгі материалдардың біріне айналдырады [6]. Сонымен қатар, экологиялық таза материал ретінде титан және оның қорытпалары қайта өңдеу және таза өндіріс саласындағы зерттеулерге сұранысты арттырады. Жаңа буын қорытпалары мен өндіріс әдістерінің дамуы Титанды 21 ғасырдың ең перспективалы құрылымдық материалдарының біріне айналдырады.

Титан мен оның қорытпаларының механикалық беріктігі жоғары, меншікті салмағы төмен және коррозияға төзімділігі ерекше болғандықтан, олар әртүрлі салаларда кеңінен қолданыла бастады. Бұл материалдар әсіресе жоғары сенімділікті қажет ететін медицина мен хирургияда, сондай-ақ аэроғарыш, автомобиль, химия өнеркәсібінде және басқа да техникалық маңызды салаларда жиі қолданылады [8]. Титан көбінесе инженерлік мақсаттарда беріктігі жоғары және коррозияға төзімді материал ретінде қолданылады [9-14]. Мұндай шамадан тыс қасиеттер титанды стратегиялық маңызды материал ретінде қарастыруға негіз болады, бұл ұзақ мерзімді перспективада сенімді және үнемді жұмыс істейтін құрылымдар мен жүйелерді құруға мүмкіндік береді. Титан қорытпаларының конструкциялық ерекшеліктері мен қасиеттері оларды жоғары жүктелген және қиын жұмыс жағдайында пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл қорытпалар жоғары деформацияға және термиялық тұрақтылыққа байланысты әртүрлі технологиялық процестерге оңай бейімделеді. Сонымен қатар, титан қорытпалары коррозиялық ортаға, соның ішінде теңіз суы мен адам ағзасындағы дене сұйықтықтарына төзімділігімен танымал. Осыған байланысты олар импланттарды, протездерді, хирургиялық құралдарды жасауда кеңінен қолданылады [10]. Сонымен қатар, олардың жеңіл және беріктік қасиеттерінің үйлесуі аэроғарыштық құрылымдарда және жоғары жылдамдықты көліктерде қолдану тиімділігін арттырады.

573 К-ден төмен температурада көміртекті талшықтармен нығайтылған пластмассалардың меншікті беріктігі титан қорытпаларына қарағанда жоғары

[15]. Дегенмен, жоғары температура жағдайында титан қорытпаларының меншікті беріктігіне ерекше назар аударылады, өйткені титан алюминидтерінің осыған байланысты кейбір артықшылықтары болғанымен, олардың бірқатар шектеулері де бар. Осыған байланысты жоғары температуралы титан қорытпаларын жасау бойынша белсенді зерттеулер жүргізілуде. Қазіргі уақытта кәдімгі титан қорытпалары шамамен 773 К температура шегіне дейін ғана тиімді Қолданылады. Ал Ti-Al негізіндегі қорытпалар жоғары температурада жұмыс істей алатын болаттармен және никель негізіндегі суперқорытпалармен салыстырмалы деңгейде бәсекелесе алады [24].

Таза титан және оның көптеген қорытпалары төмен температурадағы аллотропты өзгерістер нәтижесінде алтыбұрышты тығыз торлы құрылымы бар α -фаза түрінде түзіледі. Жоғары температураның әсерінен титан β -фазаға айналады, ол центрленген көлемі (КАЖ) бар текше құрылымымен сипатталады. Бұл полиморфты түрлендіру температурасы шамамен 1155,5 К [10,11]. Суретте.1.1 α -титан және β -титан фазаларының құрылымдарын, олардың кристаллографиялық тығыз орналасқан жазықтықтары мен бағыттарын көрсетеді. Бұл аллотропты түрлендірулер титан қорытпаларының құрылымдық және механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді, сондықтан оларды зерттеу қорытпаның дамуында маңызды рөл атқарады.



1.1-сурет- α -титан және β -титан фазаларына сәйкес кристалдық тор құрылымдарының схемалық көрінісі:

- а) алтыбұрышты жақын орналасқан тор α фазасының құрылымы,
- б) центрленген көлемі бар текше тор β -фазаның құрылымдық сипаттамасы болып табылады.

Пластикалық деформация процесі және атомдардың диффузиялық қозғалыс жылдамдығы материалдың кристалдық торының құрылымымен тығыз байланысты. Атап айтқанда, алтыбұрышты тығыз бекітілген тор (КТ) механикалық қасиеттердің анизотропиясын құрайды [15].

1.2 Өнеркәсіптікегі титан негізіндегі қорытпалар

Титан қорытпалары механикалық және технологиялық сипаттамалары бойынша үш негізгі топқа бөлінеді:

- термиялық өңдеуге бейімделмеген, жоғары пластикалық қасиеттері бар құрылымдық қорытпалар;
- термиялық қатайтылатын, беріктігі жоғары құрылымдық қорытпалар;
- жоғары температура жағдайында жұмыс істеуге арналған ыстыққа төзімді қорытпалар [16].

Дәнекерлеу технологиялары дәстүрлі механикалық қосылу әдістерінің орнына беріктігі жоғары титан қорытпаларынан жасалған күрделі конструкцияларды өндіруде кеңінен қолданылады. Мұндай жағдайларда аргон орталарында автоматтандырылған дәнекерлеу және электронды сәулемен дәнекерлеу әдістері жиі қолданылады.

VT-6 титан қорытпасы әмбебап материал ретінде белгілі және 350°C дейінгі температурада тұрақты жұмыс істеуге қабілетті төмен және орташа қысымды компрессорлардың, желдеткіштердің (қалақшалар, дискілер, статорлар, сақиналар және корпус элементтері) негізгі бөліктеріне ұсынылады. Металлургиялық зауыттар VT-6 қорытпасынан илектелген бұйымдар, соғылған дискілер, қаңылтыр және пішінді жартылай фабрикаттар шығарады [17].

VT-23 титан қорытпасы дәнекерлеуге жарамды, беріктігі жоғары және -196°C-тан 400 °C-қа дейінгі температура диапазонында қолдануға арналған.

VT-23 қорытпасы-қолдану аясы кең, беріктігі жоғары титан қорытпаларының бірі.

Титан-алюминий (Ti-Al) жүйесінің фазалық диаграммасы мен физика-химиялық қасиеттері титан қорытпаларының құрылымын болжауда маңызды рөл атқарады. Бұл диаграмма әсіресе алюминий иондарын титан бетіне имплантациялау кезінде пайда болған фазалардың құрамы мен орнын модельдеу үшін кеңінен қолданылады [19-21]. Алюминийдің атомдық радиусы, электртерістігі және иондық потенциалы сияқты металлохимиялық сипаттамалары Оны титанмен және басқа өтпелі металдармен химиялық үйлесімді элемент етеді.

Алюминийдің амфотерлік қасиеттері оның әртүрлі элементтері бар күрделі қосылыстар түзуіне мүмкіндік береді. Көптеген өтпелі металдармен бірге ол кең көлемді қатты ерітінділер мен металларалық қосылыстар түзе алады. Алюминийдің бұл қасиеті оны Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni және темір тобына жататын басқа элементтермен әрекеттесуге қабілетті етеді. Осы сипаттамаларға байланысты алюминий өтпелі металдар үшін ең тиімді легірлеуші элементтердің бірі болып табылады, бұл олардың жоғары температураға, беріктікке және басқа механикалық қасиеттерге төзімділігін арттырады.

Бұл қорытпаларда алюминий ерітіндіде қосарлы рөл атқарады: бір жағынан ол шектеулі қатты ерітінділер түзеді, ал екінші жағынан дисперсті

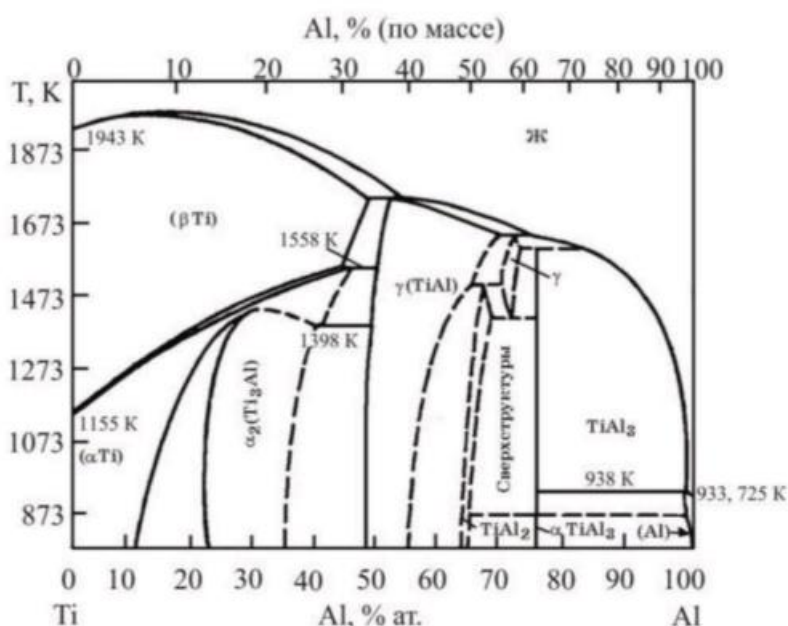
металларалық қосылыстардың түзілуін қамтамасыз ете отырып, қорытпаның беріктігін арттырады. Мұндай қатаю механизмдері дисперсиялық шындық процесі ретінде белгілі.

Титан-алюминий қорытпалары фазалық өзгерістерге ұшырайды, бұл олардың құрылымын нығайтуға және жоғары температуралық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. Алюминий титан қорытпаларындағы негізгі легірлеуші элемент болып саналады, ол болаттағы көміртегіге ұқсас рөл атқарады. Сондықтан Ti-Al жүйесі өнеркәсіптік маңызы зор титан негізіндегі қорытпаларды жасауға негіз болды деп сеніммен айтуға болады [21].

Ti-Al жүйесінің күй диаграммасының соңғы нұсқаларының бірі (1.2-суретте көрсетілген). Бұл диаграмма перитектикалық және перитектоидты фазалық түрлендірулермен сипатталады. Алюминий-титанның аллотропты түрленуінің температурасына әсер ететін бірнеше элементтердің бірі.

Осылайша, алюминийді титанға легірлеуші элемент ретінде қосу нәтижесінде титанның $\alpha \rightarrow \beta$ фазалық түрлену температурасы айтарлықтай артады: егер бұл шек таза титан үшін шамамен 1155 K болса, онда оның құрамында 32 вт болады. Құрамында алюминий бар қорытпаларда ол 1776 K дейін артады.

Сәйкес фазалық диаграммаға сүйене отырып, Ti-Al жүйесінде α -Ti, β -Ti, α_2 -ti фазалары бар екені анықталды. Al және γ -Ti-Al, сондай-ақ Ti-Al₂, Ti₂Al сияқты металларалық қосылыстар және Ti-Al₂.



1.2 сурет - Ti-Al жүйесінің күй диаграммасы

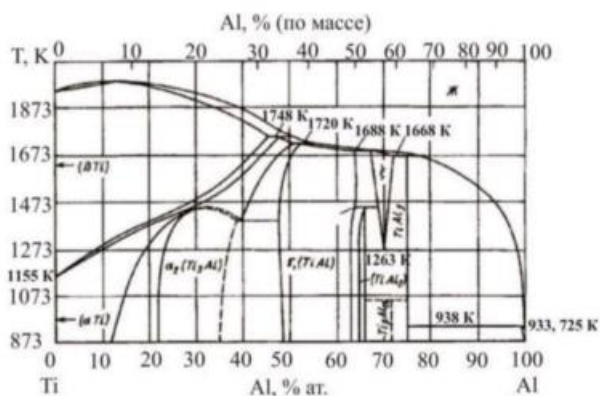
А-1717 к температурадағы қатты ерітінді және құрамында 37 вт. және 43 вт. Құрамында алюминий бар сұйық фаза арасында перитектикалық реакция жүреді. Осы процестің нәтижесінде фазасы түзіледі, оның кристалдық құрылымы металларалық қосылыс Толқынына сәйкес келеді. Бұл фазаның

кристалдық торы CuAu типті реттелген тетрагональды көлемі бар орталықтандырылған құрылымға жатады және тор параметрлері бар: $a = 0,4005$ нм, $c = 0,4070$ нм [20, 21]. γ -фазалық торустың параметрлері алюминий концентрациясының жоғарылауымен сызықты түрде өзгереді, бұл тетрагоналдылық дәрежесінің жоғарылауын көрсетеді [20, 21].

Жоғары температуралы аймақтарда γ фазасының біркелкілік өрісі 34-47 вт құрайды. Al диапазонында, ал 773 К және одан төмен температурада 37-44 вт байқалды.

Егер жүйеде алюминий мөлшері 54 вт болса, содан кейін метал аралық қосылыс Ti_2Al арасындағы перитектикалық реакция нәтижесінде. Ал алюминийге бай сұйық фаза, Ti_2Al химиялық қосылысы түзіледі. Бұл перитектикалық реакция 1628 К температурада жүретіні анықталды. Ti_2Al қосылысының құрылымы $d0_{22}$ типті тетрагональды кристалдық тормен сипатталады, оның тор параметрлері: $a = 0,5436$ нм, $c = 0,8596$ нм, және ось қатынасы $c/a = 1,581$ [20].

Соңғы шетелдік зерттеулердің бірінде Ti-Al жүйесінің мемлекеттік диаграммасының балама нұсқасы ұсынылды.



1.3 сурет – Ti-Al жүйесінің күйінің диаграммасы

1.3 Легирлеуші элементтің титан қорытпасының қасиетіне әсері

Титан қорытпаларының функционалдық қасиеттерін жақсарту үшін оларды легирлеудің негізгі әдістерін қарастыру қажет. Бұл бағытта Моисеевтің еңбектерінде [22, 23] легирлеуші элементтерді мақсатты түрде таңдау арқылы титан негізіндегі қорытпалардың өнімділік сипаттамаларын жақсартудың негізгі стратегиялық жолдары көрсетілген.

Легирлеуші элементтер титанның полиморфты өзгеру температурасына айтарлықтай әсер етпейді, бірақ оның деформацияға қарсы тұру қабілетін арттырады. Цирконий (Zr) және қалайы (Sn) әдетте α фазасын тұрақтандыру үшін қолданылады. Цирконий осы фазада бейтарап легирлеуші зат болып саналады және оның мөлшері әдетте салмағы бойынша 5% - дан аспайды. Бұл

элемент бөлме температурасынан орташа температураға дейінгі диапазондағы механикалық беріктікті арттыруда тиімді [24].

Жоғары температуралы титан қорытпаларын алу үшін α - және β -фазаларды тұрақтандыратын легірлеуші элементтерді біріктіріп қолдану перспективалы тәсіл болып саналады. Бұл әдіс жоғары температурада беріктіктің жоғарылауына ерекше әсер етеді. В фазасын тұрақтандыратын негізгі элементтерге молибден (Mo) және ванадий (V) жатады, ал ниобий (Nb) сирек қолданылады. Сонымен қатар, Cr, Fe және W сияқты элементтер β -фазада Үнемі еріп, титанмен эвтектоидты қосылыстар түзе алады, бірақ олар қорытпаның сынғыштығын арттырады [25].

Жоғары температуралық беріктіктің жоғарылауы β -фазадағы атомдық диффузия коэффициентінің жоғарылауымен байланысты. Мұндай сипаттамалары бар жүйенің мысалы ретінде Ti–Al–Mo–N негізіндегі титан қорытпасын келтіруге болады.

Бөлме температурасында мұндай қорытпалардың икемділігі шамамен 4% құрайды. Дегенмен, ниобий (Nb) сияқты тығыздығы жоғары элементтер, егер олар легірлеуші заттар ретінде пайдаланылса, титан қорытпасының беріктік қасиеттерін төмендетуге ықпал ететінін атап өткен жөн.

Зерттеу деректері бойынша [26-31] термиялық өңдеуден немесе сөндіруден өткен екі фазалы ($\alpha+\beta$) титан қорытпалары қалыпты температура жағдайында қолдануға арналған ең тиімді материалдардың бірі болып табылады.

Легірлеуші элементтердің қорытпаның құрылымы мен қасиеттеріне әсері әртүрлі, сондықтан оларды пайдалану кезінде нақты технологиялық тәсілдерді ескеру қажет.

Осыған байланысты титан қорытпаларының құрылымдық тұрақтылығы мен функционалдық қасиеттерін арттырудың ең тиімді әдістерінің бірі біріктірілген микро-жеңіл тәсіл болып табылады. Бұл әдіс қорытпаның құрылымдық және фазалық біркелкілігін қамтамасыз етеді және балқыма мен алынған өнімнің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді [32].

2 ЗЕРТТЕУДІҢ ӘДІСТЕРІ МЕН ОБЪЕКТІЛЕРІ

2.1 Ti-Al-Nb-Mo негізіндегі лигатураларды дайындау әдістемесі

Ti-Al-Nb-Mo жүйесімен байланысты күрделі лигатураларды алу үшін компоненттердің өзара әрекеттесу қасиеттерін және олардың балқу температураларын ескере отырып, арнайы технологиялық параметрлер таңдалады. Заряд ретінде жоғары тазалықтағы титан, алюминий, ниобий және молибденнің металл ұнтақтары немесе түйіршіктері (кемінде 99,5%) пайдаланылды. Массалық үлесті дәл есептей отырып, біртекті қорытпаны алу үшін компоненттер алдын ала араластырылады.

Балқытуға дейінгі кезеңде пештің іші 1×10 мм сынап бағанының деңгейіне дейін эвакуацияланды, содан кейін инертті орта ретінде аргон енгізілді. Аргон қысымы 250-300 мм сынап бағанасы аралығында сақталды. Электр доғасының балқу процесі 250-500 А ток және 25-30 В кернеуде жүргізілді, жалпы балқу уақыты шамамен 2 минутты құрады. Бастапқыда алюминий ериді, ал температура жоғарылаған сайын ниобий, молибден және титан біртіндеп еріп, сұйық металдың біртекті ваннасын құрайды.

Композиттік металдардың толық балқуын және тиімді араласуын қамтамасыз ету үшін балқу алты есе қалпына келтіріліп, біртекті құрылымға қол жеткізіледі. Алынған қорытпа алдын ала салқындатылған болат немесе графит қалыптарына (кокильдерге) құйылады. Мұндай үлгілер металлографиялық талдауға және механикалық сынауға арналған.

Алюминий негізіндегі титан, ниобий, молибден элементтерін қосу арқылы алынған бұл көп компонентті қорытпа жоғары температурада тұрақты жұмысымен, құрылымдық тұрақтылығымен және металларалық фазалардың біркелкі таралуымен сипатталады. Қатаю нәтижесінде Ti-Al, Al-Mo сияқты ұсақ дисперсті металларалық фазалардың түзілуі осы лигатураның механикалық беріктігі мен термиялық тұрақтылығын едәуір арттырады. Бұл технологиялық тәсіл төмен балқу температурасында жоғары сапалы көп компонентті қорытпаны алудың тиімді әдісі ретінде қарастырылады.

Қорытпалардың маңызды сипаттамаларының бірі болып табылатын ликвидус (TL) және солидус (TS) температуралары балқыту, құю және термиялық өңдеу процестерінде ерекше маңызды рөл атқарады. Титан қорытпалары үшін температураның осы шектерінен басқа фазалық ауысу температурасын (ФАТ) да ескеру қажет. Бұл параметрлер қорытпаны өндеудің дұрыс режимдерін таңдауға мүмкіндік береді және оның жұмысының сенімділігіне тікелей әсер етеді.

1 кесте -Vt20 маркалы титан қорытпалары үшін тепе-теңдіктің кристалдану процесінде температураның сипаттамалық деңгейлері тұрақты мәндері

№ п/п	Концентрация, масс. %				T _L , °C	T _S , °C	T _{пл} , °C
	Mo	Ti	Al	Nb			
1	0,5	0,8	5,5	1,5	1698	1694	969
2	1,25	1,3	6,5	2,0	1704	1700	975
3	2,0	0,8	5,5	1,5	1702	1697	959
4	0,5	1,8	5,5	1,5	1699	1694	959
5	0,5	0,8	5,5	2,5	1697	1692	974
6	2,0	1,8	7,5	2,5	1710	1706	975
7	0,5	0,8	7,5	1,5	1707	1703	1017
8	0,3	0,5	4,5	1,0	1694	1689	969
9	2,5	2,3	8,0	3,0	1712	1708	967
10	0,5	0,8	7,5	2,5	1705	1701	1013
11	0,5	0,8	7,0	2,0	1704	1700	1005
12	2,0	2,5	5,5	2,0	1702	1696	926

2.2 Титан қорытпасының үлгілерін термиялық өңдеу әдісі

Ti-Al-Nb-Mo жүйесімен байланысты көп компонентті титан негізіндегі қорытпаларды термиялық өңдеу әдістері олардың фазалық құрамына, функционалдық мақсатына және алдын ала өңдеу жағдайларына байланысты таңдалады. Мұндай қорытпаларға негізінен күйдіру, сөндіру, күйдіру және қажет болған жағдайда химиялық және термиялық өңдеу процестері қолданылады. Бұл процедуралар қорытпаның механикалық қасиеттерін оңтайландыруға, оның құрылымын тұрақтандыруға және ішкі кернеулерді жоюға бағытталған.

α -фазасы басым титан қорытпалары, оның Ішінде Ti-Al-Nb жүйесіне жататын қорытпалар, әдетте 800-ден 850 °C-қа дейінгі температурада болады. және $\alpha+\beta$ -фазалық құрылымы бар қорытпалар үшін бұл температура 700-800 °C диапазонында таңдалады. Қорытпаның құрамындағы β -фазаның тұрақтануын қамтамасыз ету үшін 870-980°C аралығындағы қыздыру кезеңдерінен тұратын жоғары температуралы күйдіру процедурасы қолданылады және изотермиялық ұстау 530-660°C аралығында. Соңғы жылдары вакуумды күйдіру жиі қолданыла бастады, себебі ол қорытпадағы сутегі концентрациясын төмендетеді және тотығу процесінің алдын алады.

Өңдеуден кейінгі қалдық кернеулерді жою және құрылымдағы ақауларды реттеу үшін 550-650°C температурада күйдіру әдісі қолданылады.

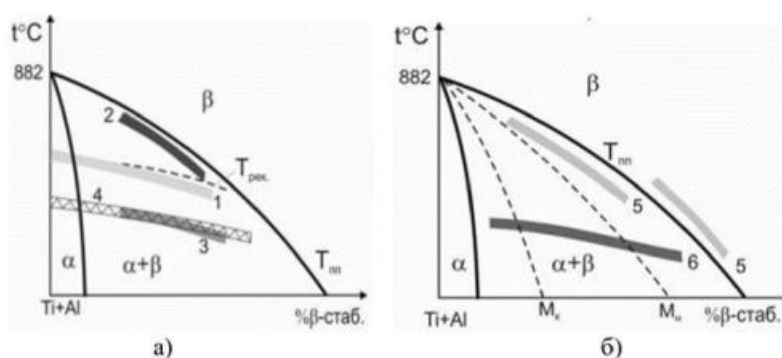
Бұл өңдеу әсіресе $\alpha+\beta$ -фазалы титан қорытпалары үшін маңызды. Сонымен қатар, осы типтегі қорытпалар беріктігін арттыру үшін сөндіру және жасанды күйдіру арқылы күшейту әдістерін қолданады. Титан қорытпасының жалпы беріктігінің таза титаннан екі есе дерлік жоғары болуы оны құрылымдық материал ретінде кеңінен қолдануға мәжбүр етеді.

Термиялық өңдеудегі Ti-Al-Nb-Mo қорытпаларының ерекшелігі олардың фазалық түрлену қабілеті болып табылады. Титанның екі түрлі полиморфты күйде болуымен ерекшеленеді: төмен температурада алтыбұрышты жақын орналасқан тордың α -фазасы, ал жоғары температурада центрленген көлемі бар текше тордың β -фазасы. Бұл фазалар арасындағы ауысу қорытпаның салқындату жылдамдығына байланысты екі түрлі механизммен жүреді: диффузиялық және мартенситтік.

Диффузиялық трансформация салыстырмалы түрде баяу салқындату кезінде жүреді, оның барысында жаңа α -фазалық бөлшектердің біртіндеп түзілуі мен өсуі жүреді. Ал мартенситтік механизм-бұл диффузиясыз, яғни ығысумен жүретін трансформация процесі. Бұл жағдайда құрылымда қатаю әсерін тудыратын α' -немесе α'' - мартенситтік фазалар түзіледі. Бұл процесс V клапаны критикалық жылдамдық шегінен жоғары салқындаған кезде пайда болады.

Күйдіру әдістерінің ішінде толық күйдіру, стрессті төмендететін күйдіру, изотермиялық және қайта кристалдану әдістері кеңінен қолданылады. Бұл процедуралар қорытпа құрылымындағы фазалық және механикалық қасиеттерді тұрақтандырады және біркелкілікті қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ол пластике дейінгі деформация нәтижесінде пайда болатын ішкі кернеулерді тиімді түрде жояды.

Термиялық өңдеуді күшейту тек екі фазалы $\alpha+\beta$ титан қорытпаларына қолданылады және екі кезеңнен тұрады: біріншісі-жоғары температурада қатаю, екіншісі-салыстырмалы түрде төмен температурада жасанды ауа райының бұзылуы. Қорытпаның беріктігінің соңғы дәрежесі сөндірілген құрылымда қалған фазалардың санына және олардың таралуына тікелей байланысты. Сөндіру температурасы химиялық құрамы мен өңделетін қорытпаның күтілетін фазалық күйіне байланысты таңдалады.



2.1-сурет-титан қорытпаларын термиялық қыздыру (а) және қатайту өңдеудің түрлері мен температуралық диапазоны (б) Тр-температура және қайта кристалдану;

2.3 Ti-Al-Nb жүйелерінің политермиялық қималарын талдау

Алюминийдің тұрақты концентрациясында (45моль) Ti-Al-Nb жүйелерінің орындалған политермиялық схемалық қималары үшінші компоненттің (X) гамма қорытпаларының фазалық құрамына әсерін бастапқы талдауға мүмкіндік береді. Екілік Ti-Al жүйесімен салыстырғанда, үштік жүйелердің политермиялық учаскелерінде үш фазалы аймақтардың болуы байқалады. Сонымен қатар, Ti-Al жүйесіндегі инвариантты перитектикалық ($L+\beta\rightarrow\alpha$) және эвтектоидты ($\alpha\rightarrow\alpha_2+\gamma$) реакциялар үштік жүйелерде моновариантты, яғни бұл процестер белгілі бір температура диапазонында жүреді.

Ti-Al-Nb жүйесі

Nb-гамма қорытпаларында жиі кездесетін элементтердің бірі. Бұл үштік жүйе эксперименттік және модельдік әдістермен кеңінен зерттелген. Кристалданудың соңындағы фазалық құрам қорытпадағы Nb концентрациясына байланысты өзгереді.

Мысалы, Nb мөлшері шамамен 4 моль% болғанда, кристалдану $\alpha+\gamma$ -фазалық аймақта аяқталады, ал жоғары концентрацияда ол γ -фазалық аймаққа өтеді. Бірақ γ фазасының бұл бір фазалы аймағы өте тар температура диапазонымен сипатталады. 1300-1400°C- тан төмен температураға дейін салқындаған кезде қорытпалар α -және γ -фазалардан тұрады, әрі қарай азая отырып γ -2-фаза түзіледі.

Nb сұйықтың (TL) және қатты заттың (TS) температурасын, сондай-ақ γ -фазаның түзілу температурасын жоғарылатады. Сонымен қатар, бұл эвтектоидтың реакция температурасын төмендетуге көмектеседі $\alpha\rightarrow\alpha_2 + \gamma$. Құрамында Nb мөлшері 7 моль% - ға дейін болса, бұл реакция үш фазалы күйде жүреді, ал 7-9 моль% диапазонында төрт фазалы эвтектоидты реакцияға әкелуі мүмкін.

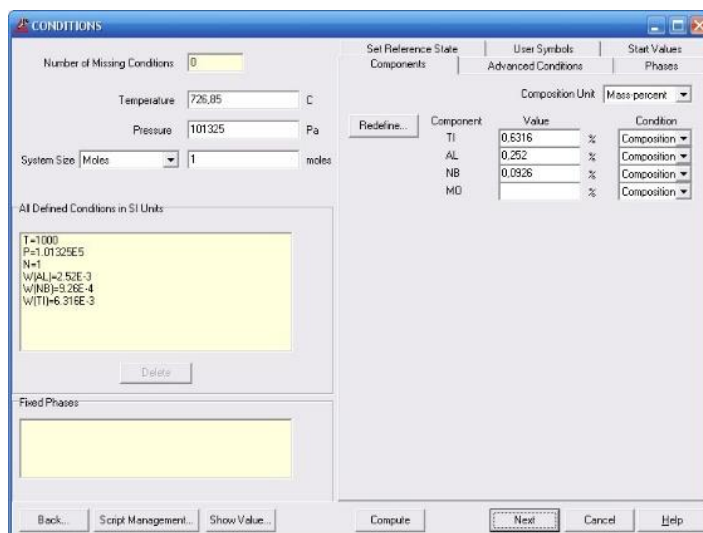
Ti-Al-Mo жүйесі

Mo 3-ші буын гамма қорытпаларында маңызды легирлеуші зат ретінде қолданылады. Әдетте, мұндай қорытпаларда бірнеше легирлеуші элементтер болады. β -фаза бастапқыда барлық үштік қорытпаларда тепе-теңдікте түзіледі. 1,7 моль Mo дейінгі концентрацияда кристалдану $\alpha+\gamma$ фазалық аймақта, ал жоғары концентрацияда бір фазалы γ -фазалық аймақта аяқталады.

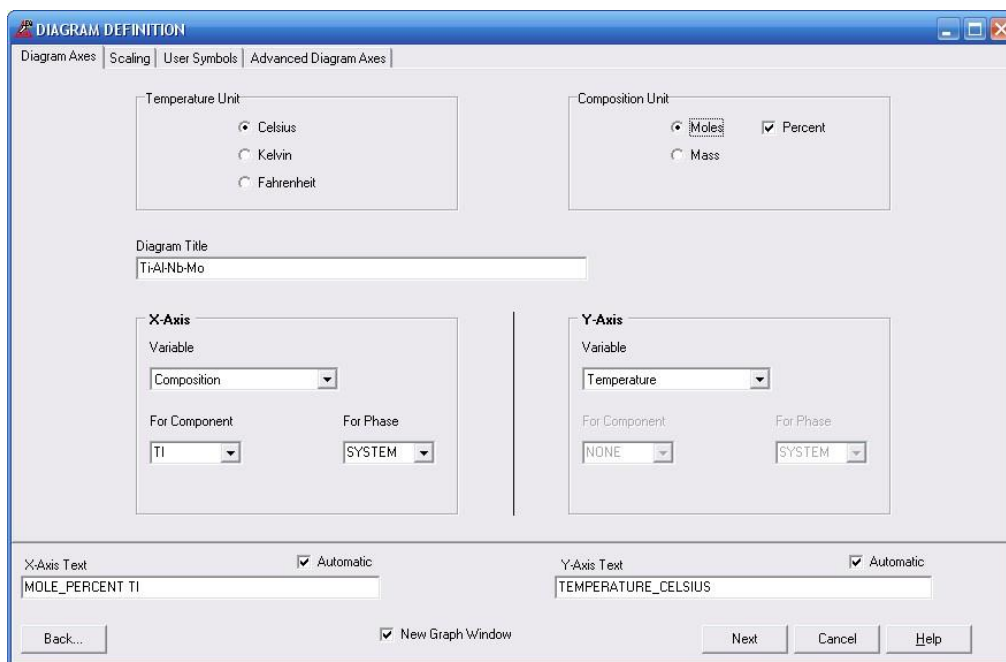
Nb салыстырғанда Mo сұйықтық пен қатты заттың температурасын аздап төмендетеді, бірақ γ -фазаның түзілу температурасын жоғарылатады. Сонымен қатар, Mo $\alpha\rightarrow\alpha_2$ реакция температурасын айтарлықтай төмендетеді. Мысалы, 1 моль% Mo кезінде бұл айырмашылық $\sim 100^\circ\text{C}$, ал 8 моль% Nb кезінде $\sim 10^\circ\text{C}$ Болады.

2.4 Көп компонентті Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің фазалық диаграммаларын компьютерлік есептеу әдісі

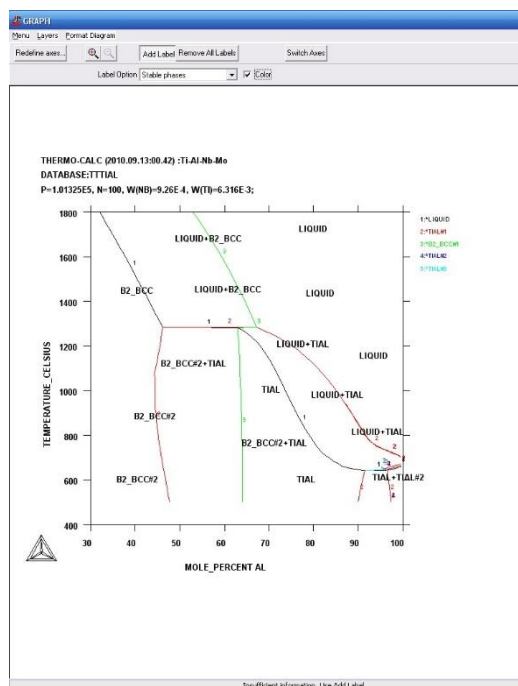
Thermo-Calc-күрделі көпкомпонентті жүйелердің термодинамикалық қасиеттерін есептеуге және фазалық тепе-теңдікті болжауға арналған кәсіби деңгейдегі ғылыми және бағдарламалық пакет. Бұл бағдарлама материалтану, металлургия, қорытпаларды жобалау, жоғары температуралы процестерді модельдеу және жаңа материалдарды болжау салаларында кеңінен қолданылады.



2.2 сурет- Thermo-Calc бағдарламасындағы жұмыс барысы



2.3 сурет- Thermo-Calc бағдарламасы



2.4 сурет- үлгіні алу барысы

Бағдарлама термодинамикалық тепе-теңдікке негізделген есептеулерге мүмкіндік береді, соның ішінде:

- көпфазалы жүйелердің фазалық диаграммаларын құру (изотермиялық, политермиялық қималар);
- тепе-теңдік емес кристалдану процестерін сандық модельдеу;
- температура мен құрамның өзгеруімен жүйенің фазалық түрленуін болжау;
- әртүрлі легірілеуші элементтердің әсерін бағалау және оңтайлы құрамды таңдау.

Thermo-Calc пайдаланушыға көптеген мүмкіндіктерді ұсынады: ол термодинамикалық мәліметтер базасымен тікелей жұмыс істейді, әртүрлі химиялық элементтер мен олардың қосылыстары үшін сенімді термодинамикалық деректерді қамтамасыз етеді. Жүйе компоненттерінің өзара әрекеттесуі Гиббс энергиясы, энтальпия, энтропия және жылу сыйымдылығы сияқты негізгі функцияларды қолдану арқылы сипатталады.

Бағдарламаның графикалық интерфейсі пайдаланушыға есептеулер нәтижелерін диаграммалар, графиктер немесе кестелер түрінде көруге және талдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Thermo-Calc автоматты есеп беру, экспорттау, нәтижелерді салыстыру және көп ағынды есептеулерді орындау сияқты қосымша функциялармен жабдықталған.

Ti-Al-Nb-Mo сияқты көп компонентті жүйелерге келетін болсақ, Thermo-Calc бағдарламасын қолдану ғылыми және өндірістік зерттеулерде үлкен артықшылық береді. Осы бағдарламаның көмегімен болашақ материалдың фазалық тұрақтылығын, микроқұрылымның өзгеруін және жаңа корытпаларды жобалау кезеңінде жоғары температурада қолдану тиімділігін

болжауға болады. Сонымен қатар, бұл эксперименттік зерттеулерді азайта отырып, уақыт пен қаржылық шығындарды айтарлықтай азайтады.

Thermo-Calc бағдарламалық пакетінің басты артықшылықтарының бірі оның құрамында классикалық термодинамикалық тепе-теңдік пен негізгі шамаларды есептеумен ғана шектелмейтін, сонымен қатар күрделі жүйелер үшін арнайы есептеу мүмкіндіктерін қамтамасыз ететін модульдердің болуы болып табылады. АТАП айтқанда, DICTRA модулі көп компонентті жүйелердегі фазалық шекаралар бойынша диффузиялық процестерді дәл және сенімді модельдеу құралы ретінде ерекше маңызға ие.

Ti-Al-Nb-Mo сияқты жүйелерде диффузиялық құбылыстар, фазааралық өзара әрекеттесулер және металларалық қосылыстардың түзілуі материалдың құрылымдық тұрақтылығын анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Бұл тұрғыда DICTRA модулі фазалардың туралану заңдылықтарын, элементтердің таралуын және нақты температура мен уақыт диапазонындағы шекаралық өзгерістерді болжауға мүмкіндік береді.

Thermo-Calc Software әзірлеген бағдарламалық жасақтама пакетіне келесі өнімдер кіреді:

Thermo-Calc Classic (TCC) - фазалық тепе-теңдікті, термодинамикалық қасиеттерді және фазалық диаграммаларды құруға мүмкіндік беретін күрделі титан негізіндегі жүйелерге арналған негізгі есептеу платформасы;

TCInterfaces-Бұл Басқа бағдарламалармен бірге Термо-Калькуляцияны қолдануға арналған интерфейсті әзірлеу құралы.;

DICTRA-уақыт пен температураға байланысты көп компонентті қорытпалардағы элементтердің диффузиясын модельдеуге арналған қуатты модуль;

Деректер базасы - бұл әр түрлі жүйелер үшін нақты эксперименттік және модельдік параметрлерге негізделген арнайы термодинамикалық және диффузиялық мәліметтер базасы (мысалы, Ti, Al, Nb, Mo жүйелері үшін TCTI немесе TCHEA).;

Windows жүйесіне арналған Thermo-Calc (TCW)–Windows платформасындағы пайдаланушыға ыңғайлы интерфейс арқылы күрделі есептеулерді тиімді ұйымдастыруға арналған бейімделген нұсқа.

Бағдарлама термодинамиканың классикалық моделі негізінде жұмыс істейді, мұнда жүйенің тепе-теңдік күйі негізгі күй айнымалылары-температура, қысым, химиялық потенциал және композиция арқылы сипатталады. Осы айнымалылар арасындағы функционалдық тәуелділіктердің арқасында кез келген күйдегі термодинамикалық параметрлерді дәл есептеуге болады.

Ti-Al-Nb-Mo жүйесі үшін Thermo-Calc көмегімен алынған мәліметтер термиялық тұрақтылықты, фазалық түрлендірулерді және жүйенің құрылымдық эволюциясын тереңірек түсінуге жол ашады. Сонымен қатар, бұл бағдарламалық шешім жаңа қорытпаларды құрастыру бойынша эксперименттік жұмыстарды оңтайландыруға, уақыт пен ресурстарды үнемдеуге және ғылыми дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста Ti-Al-Nb-Mo жүйесімен байланысты көп компонентті титан негізіндегі қорытпаларға қатысты фазалық жағдайларды зерттеу үшін заманауи Thermo-Calc бағдарламалық платформасы және бірқатар эксперименттік әдістер қолданылды. Зерттеу аясында жүйенің изотермиялық және политермиялық бөлімдері, сондай-ақ сұйық және қатты беттердің проекциялары есептелді. Сонымен қатар, тепе-теңдік емес жағдайда жүйеде қорытпалардың кристалдану процестері сандық түрде модельденді.

Теориялық есептеулер бірқатар маңызды ғылыми және практикалық мәселелерді шешуге мүмкіндік берді.:

Ti-Al-Nb-Mo жүйесі бойынша фазалық тепе-теңдік пен термодинамикалық сипаттамаларды сипаттайтын эксперименттік мәліметтерді біріздендіру;

Үш немесе одан да көп компоненттік жүйелер үшін жаңа фазалық диаграммаларды құру процесін жеңілдетіңіз және оған кететін уақыт пен ресурстарды азайтыңыз;

Thermo-Calc бағдарламасын қолдану көп компонентті жүйелерді зерттеудегі эксперименттік сынақтардың көлемін оңтайландыруға, сондай-ақ ғылыми зерттеулердің тиімділігі мен дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Бағдарламада есептелген нәтижелер жүйенің термодинамикалық тұрақтылығын, фазалық шекараларын және жаңа интерметалл қосылыстарының түзілу жағдайларын анықтауға негізделген.

Кесте 2-40 мольдегі Ti-Al-Nb жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамының сандық параметрлері

Nb, мол. %	T, °C	Фаза	Qм, % (масс.)	Элементтердің құрамы, % (масс.)		
				Ti	Al	Nb
1	1400	α	100	70,68	27,00	2,32
	1200	α	100	70,68	27,00	2,32
	1000	α_2	83,57	72,20	25,60	2,20
		γ	16,43	62,87	34,17	2,96
	800	α_2	72,93	73,76	24,20	2,04
		γ	27,07	62,35	34,54	3,11
	600	α_2	65,22	75,40	22,83	1,77
		γ	34,78	61,81	34,82	3,37
	Қорытпа			70,68	27,00	2,32
5	1400	α	2,56	63,20	27,85	8,95
		β	97,44	63,04	25,78	11,18
	1200	α	100	63,04	25,84	11,12
		α_2	71,76	66,32	23,55	10,13
	1000	γ	28,24	54,73	31,64	13,63
		α_2	63,98	68,10	22,38	9,52
	800	γ	36,02	54,05	31,99	13,96
		α_2	57,85	70,16	21,22	8,62
	600	γ	42,15	53,27	32,18	14,55
		Қорытпа		63,04	25,84	11,12
10	1400	β	100	54,38	24,52	21,10
	1200	α	29,67	58,63	26,01	15,36
		β	70,33	52,59	23,88	23,53
	1000	β	6,98	45,76	21,37	32,87
		α_2	54,75	60,47	21,61	17,92
		γ	38,27	47,24	29,25	23,51
	800	σ	0,60	27,52	15,74	56,74
		α_2	53,74	61,66	20,43	17,91
		γ	45,66	46,16	29,44	24,40
	600	σ	0,60	22,83	14,21	62,96
		α_2	49,22	63,59	19,39	17,02
		γ	50,20	45,72	29,66	24,62
	Қорытпа			54,38	24,52	21,10

Кесте 3-45 мольдегі Ti–Al–Nb жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамының сандық параметрлері.

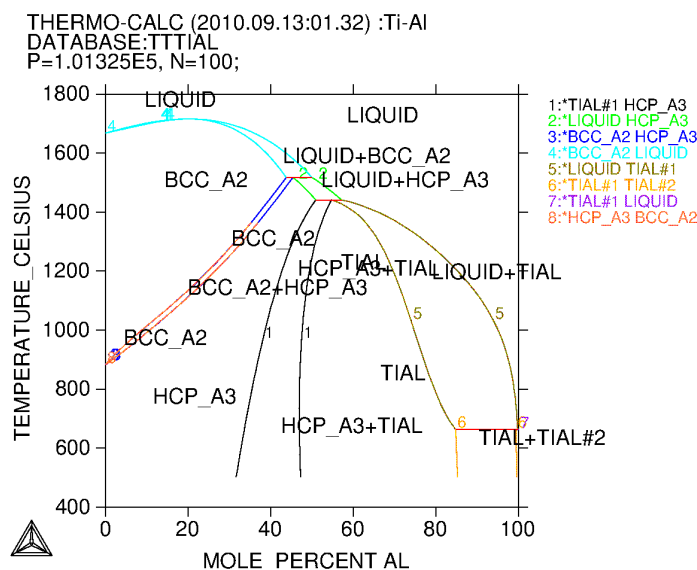
Nb, мол. %	T, °C	Фаза	Q _м , % (масс.)	Элементтердің құрамы, % (масс.)		
				Ti	Al	Nb
1	1400	α	100	66,42	31,19	2,39
	1200	α	64,38	68,55	29,13	2,32
		γ	35,62	62,57	34,92	2,51
	1000	α ₂	35,55	72,39	25,66	1,95
		γ	64,45	63,13	34,24	2,63
	800	α ₂	33,23	73,97	24,27	1,76
		γ	66,77	62,66	34,64	2,70
	600	α ₂	31,19	75,63	22,90	1,47
		γ	68,81	62,25	34,95	2,80
Қорытпа				66,42	31,19	2,39
5	1400	α	100	58,78	29,81	11,41
	1200	α	55,18	61,74	27,42	10,84
		γ	44,82	55,14	32,76	12,10
	1000	α ₂	26,51	67,09	23,82	9,09
		γ	73,49	55,78	31,98	12,24
	800	α ₂	26,08	68,93	22,64	8,43
		γ	73,92	55,20	32,34	12,46
	600	α ₂	25,18	71,11	21,50	7,39
		γ	74,82	54,63	32,61	12,76
Қорытпа				58,78	29,81	11,41
10	1400	α	46,18	51,77	29,73	18,50
		β	53,82	48,73	26,98	24,29
	1200	β	42,82	50,48	24,12	25,40
		γ	57,18	49,87	31,35	18,78
	1000	α ₂	16,27	61,10	21,81	17,09
		γ	83,93	48,00	29,50	22,50
	800	α ₂	17,63	62,79	20,76	16,45
		γ	82,37	47,42	29,86	22,72
	600	α ₂	17,73	64,85	19,73	15,42
		γ	82,27	46,96	30,09	22,95
Қорытпа				50,17	28,22	21,60

Кесте 4-40 мольдегі Ti–Al–Mo жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамының сандық параметрлері.

Mo, мол. %	T, °C	Фаза	Qм, % (масс.)	Элементтердің құрамы, % (масс.)		
				Ti	Al	Mo
1	1400	α	19,43	70,50	28,44	1,06
		β	80,57	70,65	26,63	2,72
	1200	α	100	70,62	26,98	2,40
	1000	β	4,26	58,14	23,06	18,80
		α_2	78,77	72,94	25,65	1,41
		γ	16,97	62,98	34,12	2,90
	800	α_2	71,46	74,64	24,43	0,93
		γ	25,51	63,34	34,85	1,81
		σ	3,03	37,11	20,86	42,03
	600	α_2	63,44	76,46	23,17	0,37
		γ	32,52	63,91	35,45	0,64
		σ	4,04	33,03	18,58	48,39
	Қорытпа			70,62	26,98	2,40
2	1400	β	100	68,60	26,66	4,74
	1200	α	88,81	69,22	26,98	3,80
		β	11,19	63,67	24,16	12,17
	1000	β	17,69	58,14	23,06	18,80
		α_2	65,00	72,94	25,65	1,41
		γ	17,31	62,98	34,12	2,90
	800	α_2	66,85	74,64	24,43	0,93
		γ	24,40	63,34	34,85	1,81
		σ	8,75	37,11	20,86	42,03
	600	α_2	59,34	76,46	23,17	0,37
		γ	31,74	63,91	35,45	0,64
		σ	8,92	33,03	18,58	48,39
	Қорытпа			68,60	26,66	4,74

Кесте 5-45 мольдегі Ti–Al–Mo жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамының сандық параметрлері.

Mo, мол. %	T, °C	Фаза	Q _M , % (масс.)	Элементтердің құрамы, % (масс.)		
				Ti	Al	Mo
1	1400	α	100	66,37	31,17	2,46
	1200	α	67,13	68,18	29,17	2,65
		γ	32,87	62,67	35,24	2,09
	1000	β	0,48	58,14	23,06	18,80
		α ₂	34,24	72,94	25,65	1,41
		γ	65,28	62,98	34,12	2,90
	800	α ₂	32,22	74,64	24,43	0,93
		γ	65,45	63,34	34,85	1,81
		σ	2,33	37,11	20,86	42,03
	600	α ₂	29,42	76,46	23,17	0,37
		γ	66,60	63,91	35,45	0,64
		σ	3,98	33,03	18,58	48,39
	Қорытпа					
2	1400	α	62,85	65,00	31,79	3,21
		β	37,15	63,24	29,09	7,67
	1200	α	57,85	66,69	28,87	4,44
		β	7,28	60,42	25,73	13,85
		γ	34,87	61,28	35,03	3,69
	1000	β	14,31	58,14	23,06	18,80
		α ₂	20,65	72,94	25,65	1,41
		γ	65,04	62,98	34,12	2,90
	800	α ₂	27,97	74,64	24,43	0,93
		γ	63,82	63,34	34,85	1,81
		σ	8,21	37,11	20,86	42,03
	600	α ₂	25,63	76,46	23,17	0,37
		γ	65,38	63,91	35,45	0,64
		σ	8,99	33,03	18,58	48,39
	Қорытпа					

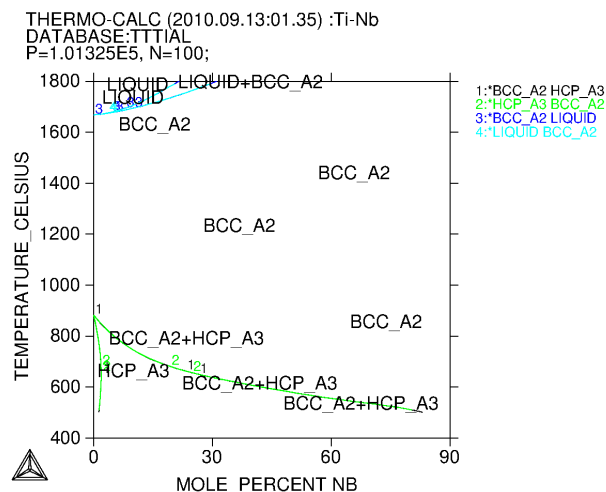


output by user Admin on 2010.09.13:01.32

Thermo-Calc есептелген Ti-Al екілік жүйесінің фазалық диаграммасы алюминий құрамына байланысты түзілетін температура шекаралары мен композиттік фазалық қатынастарды бейнелейді. Диаграммада BCC_A2 (көлемге бағытталған текше торы бар β -фаза), HCP_A3 (алтыбұрышты торы бар α -фаза) фазаларының тұрақты аймақтары, сондай-ақ TiAl, TiAl₂ және TiAl₃ металлалық қосылыстары көрсетілген. Сұйық фазаға және қатты фазалардың бірі қатар өмір сүретін екі фазалы аймақтарға ерекше назар аударылады.

Бұл диаграммадағы liquidus және solidus сызықтары сәйкесінше балқудың басталуы мен аяқталуының шекараларын анықтайды. Әр түрлі концентрация диапазонында нақты көрсетілген перитектикалық және эвтектикалық реакциялар жаңа фазалардың пайда болуының температуралық жағдайларын көрсетеді. Мысалы, Ti γ -фазасы шамамен 50 моль аймағында түзіледі. Ал Al шамамен 1000-нан 1400 °C-қа дейінгі температура диапазонында сақталады. Алюминийдің жоғарылауы TiAl₂ және TiAl₃ фазаларының түзілуіне ықпал етеді, әсіресе 80 мольден жоғары диапазонында.

Бұл диаграмманың практикалық маңыздылығы жоғары жылу кедергісі, коррозияға төзімділігі және құрылымдық тұрақтылығы бар қорытпаларды жобалау кезінде термиялық өндеуді және легирлеуді оңтайландыру мүмкіндігінде жатыр. Мұндай материалдар аэроғарыш өнеркәсібінде, энергетикада және басқа да жоғары температуралы инженерлік қолданбаларда сұранысқа ие.



output by user Admin on 2010.09.13:01.35

Бұл диаграмма температураға және Nb элементінің молекулалық пайызына байланысты жүйеде болатын фазалық ауысуларды сипаттайды. Координатаның тік осі температура мәндерін ($^{\circ}\text{C}$), ал көлденең ось жүйеде Nb құрамын білдіреді.

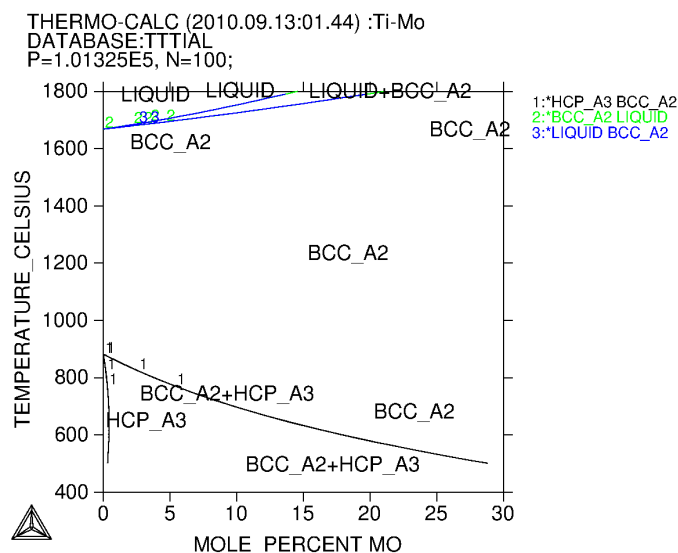
Нәтижелер бойынша HCP_A3 (тығыз алтыбұрышты α -фаза) төмен температуралы аймақтарда орнатылады және температура жоғарылаған сайын жүйеде BCC_A2 фазасы (β -фаза, центрленген көлемі бар текше тор) басым бола бастайды. Nb молекулалық үлесі артқан сайын β -фазаның тұрақтылық аймағы едәуір артады, ал α -фазаның қатысу аймағы азаяды. Nb жоғары концентрациясында (шамамен 90 моль. % дейін), BCC_A2 фазасы жүйесінде басым фазалық күйге айналады.

Диаграммада сонымен қатар белгілі бір температура диапазонында фазалардың қатар жүруін сүруін көрсететін BCC_A2 + HCP_A3 фазалық аймағы көрсетілген. Мұндай екі фазалы аймақтар термиялық өндеуде маңызды, өйткені олар құрылымдық тұрақтылықты қамтамасыз етуге ықпал етеді.

Осы диаграмма негізінде алынған нәтижелер термиялық өндеуге қатысты Ti-Nb қорытпаларының фазалық шекараларын нақтылауға және құрылымдық және фазалық күйдің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, материалтану және машина жасау салаларында титан негізіндегі жаңа жоғары өнімді қорытпаларды әзірлеу мен қолданудың ғылыми негізі болып табылады.

3. НӘТИЖЕЛЕРДІ ТАЛДАУ

3.1 Екілік жүйесінің фазалық диаграммасын талдау



output by user Admin on 2010.09.13:01.44

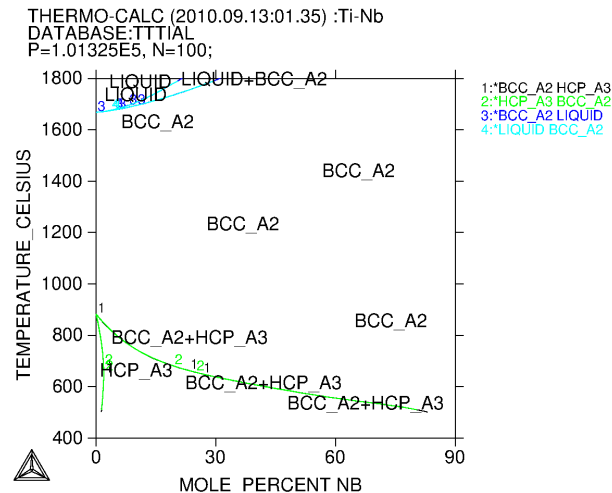
3.1 сурет-Тi-Мо екілік жүйесінің фазалық диаграммасын талдау

Ti-Мо жүйесінің фазалық диаграммасы Thermo-Calc бағдарламасы арқылы есептеледі және температураға және молибденнің молекулалық пайызына байланысты түзілетін фазалық аймақтарды сипаттайды. Температура (°C) тік осьте, Ал Мо элементінің құрамының өлшемі көлденең осьте орнатылады.

Диаграмма HCP_A3 (алтыбұрышты α -фаза) төмен температура аймағында орнатылғанын көрсетеді. Температура жоғарылаған сайын жүйеде BCC_A2 фазасы (β -фаза, көлемге бағытталған текше тор) басым бола бастайды. Молибденнің үлесі артқан сайын α -фазаның тұрақтылық шегі төмендейді, бұл β -фазалық аймақтың едәуір кеңеюіне әкеледі.

Фазалық диаграммада сонымен қатар bcc_a2 + HCP_A3 екі фазалы аймағы көрсетілген, бұл α және β фазалары белгілі бір температура мен Мо концентрациясы арасында қатар өмір сүретін аймақ. Бұл аймақ материалды термиялық өңдеу кезінде қажетті құрылымдық жағдайға жету үшін ерекше маңызды.

BCC_A2 фазасының тұрақтылық аймағының кеңеюі титан негізіндегі қорытпалардағы β -фазаның тұрақтандырушы элементі ретінде молибденнің тиімділігін дәлелдейді. Мұндай қасиеттер Ti-Мо қорытпаларын жоғары температура жағдайында қолдануға ыңғайлы етеді, бұл оларды аэроғарыштық, энергетикалық және жоғары жүктемелі құрылымдарда қолдануға мүмкіндік береді.



output by user Admin on 2010.09.13:01.35

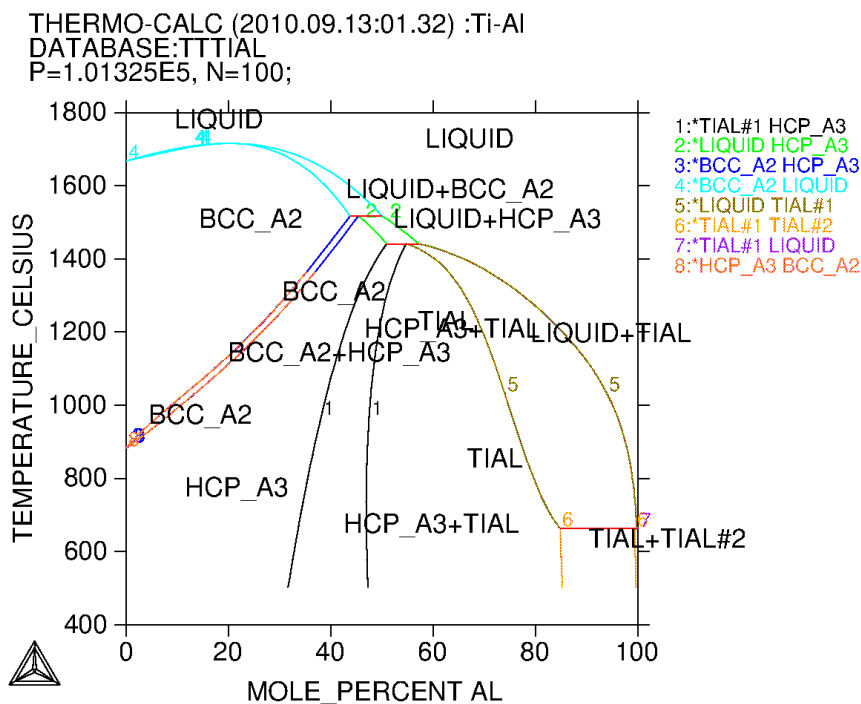
3.2 сурет-Ti-Nb екілік жүйесінің фазалық диаграммасын талдау

Ti-Nb екілік жүйесінің нақты фазалық диаграммасы температураға және (Nb) молекулалық пайызына байланысты фазалық өзгерістерді сипаттайды. Бұл диаграмма Thermo-Calc бағдарламасы арқылы алынған және термодинамикалық фазалық тепе-теңдікке негізделген.

Диаграмманың төменгі температуралық бөлігінде HCP_A3 фазасы (алтыбұрышты α -фаза) тұрақты күйде болады. Температура жоғарылаған сайын жүйеде негізгі құрылымдық фаза ретінде үстемдік ететін BCC_A2 фазасы (көлемге бағытталған кубтық β -фаза) белсенді түрде қалыптасады. Мөлшерінің ұлғаюы α -фазаның бекіту аймағын тарылтады және β -фазаның тұрақтылық диапазонын кеңейтеді.

Диаграммада BCC_A2 + HCP_A3 екі фазалы аймағы көрсетілген, ол екі фазаның бір уақытта тепе-теңдікте болатын аралығын сипаттайды.

Nb элементі титан қорытпаларындағы β -фазаны тұрақтандыратын негізгі легирлеуші зат ретінде әрекет етеді. Бұл, Ti- Nb жүйесіне негізделген материалдардың жоғары температурада жұмыс істеу қабілетін қамтамасыз етеді. Атап айтқанда, мұндай қорытпалар жоғары жүктемелерге ұшырайтын авиацияда, энергетикада және құрылымдық компоненттерде кеңінен қолданылады.



output by user Admin on 2010.09.13:01.32

3.3 сурет-Ti-Al екілік жүйесінің фазалық диаграммасын талдау

3.3 суретте температураға (°C) және *MOLE_PERCENT* алюминий пайызына байланысты фазалық өзгерістерді сипаттайды.

Диаграммада келесі негізгі фазалар мен фазалық аймақтар көрсетілген:

- LIQUID-балқытылған күй;
- BCC_A2-β-фаза (дене центрі бар кубтық құрылым);
- HCP_A3-α-фаза (алтыбұрышты тығыз оралған құрылым);
- Ti-Al және $TiAl_2$, $TiAl_2$ -металларалық қосылыстар.

Белгілі бір аймақтарда келесі фазалық тепе-теңдік байқалады:

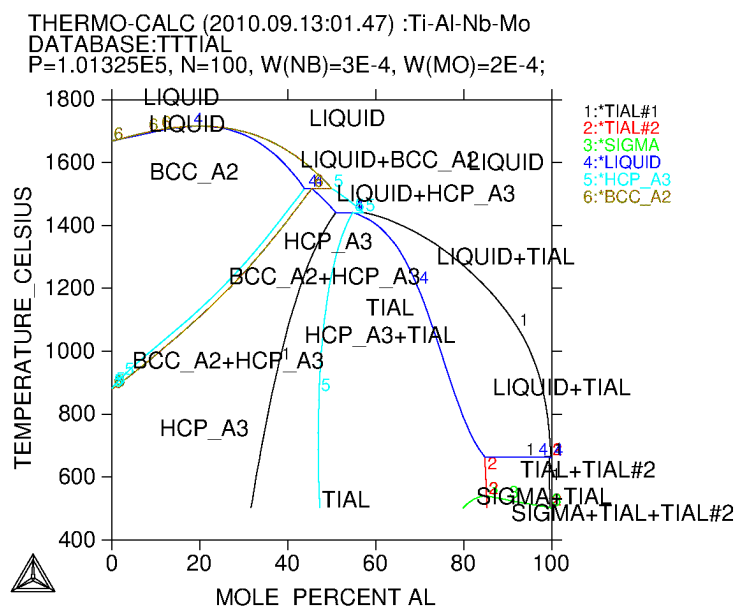
-Алюминий мөлшері 0-ден 30% - ға дейінгі төмен температурада HCP_A3 фазасы басым болады, ал жоғары температурада BCC_A2 фазасы тұрақтанады.

Ал-ның 40-60% аралығында аралас фазаның Ti-Al фазасы және HCP_A3 + Ti-Al немесе BCC_A2 + Ti-AL аймақтары түзіледі.

Алюминий мөлшері 80% - дан асқанда, Ti-Al және $TiAl_2$ және $TiAl_2$ фазалары қатар жүреді.

Бұл суретте титан мен алюминийдің әртүрлі пропорцияларының әсерінен қандай фазалық құрылым түзілетінін болжауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сұйық және қатты күйдегі қисықтар кристалданудың басталу және аяқталу температурасын анықтайды, бұл балкыту, құю және термиялық өңдеу сияқты технологиялық процестер үшін маңызды.

Осы фазалық диаграмма негізінде Ti-Al жүйесіндегі құрылымдық фазалар арасындағы ауысуларды анықтауға және механикалық және жылу қасиеттерін оңтайландыру үшін өңдеу режимдерін таңдауға болады.



output by user Admin on 2010.09.13:01.47

3.4 сурет-Ti-Al-Nb-Mo көпкомпонентті жүйесінің фазалық диаграммасын термо-есептеу талдауы

Жоғарыда келтірілген диаграмма Ti-Al-Nb-Mo жүйесі Thermo-Calc бағдарламасы арқылы алынған есептеулердің нәтижелеріне негізделуі мүмкін және төрт компонент — титан (Ti), алюминий (Al), ниобий (Nb) және молибден (Mo) арасындағы фазалық өзара әрекеттесуді сипаттайды. Температура графигі (°C) алюминийдің бір молекулалық пайдалы молекулаға тәуелсіз көрінісін көрсетеді. Көпше түрдегі Nb және Mo диаграммаға сәйкес $W(Nb) = 3E-4$ және $W(Mo) = 2E-4$ дұрыс салмақ үлесіне тең.

Диаграммада бірнеше маңызды фазалық аймақтар анық көрсетілген:

-HCP_A3 (α -фаза) - Төмен температуралы құрылымдық болат алтыбұрышты құрылымдық фаза болып табылады;

-BCC_A2 (β -фаза)-жоғары температуралы қондырғының центрленген температурасы бар текше тор;

-Ti-Al және Ti-Al-Nb-бұл металларалық қосылыстар (Ti-Al фазалары-торлы қабықтағы γ -фазалық затбелгі);

SIGMA күрделі кристалдық құрылымның қоспасы, механикалық төзімді, жоғары, моракорт фазаларының бірқатарына оралған.;

Сұйық фаза балқу температурасынан жоғары аймақта орналасқан.;

Көп фазалы аймақтар- LIQUID + TiAl, BCC_A2 + HCP_A3, HCP_A3 + TiAl сәулелену фазаларының қатарлары интервалдары.

Фазалық өзара әрекеттесу:

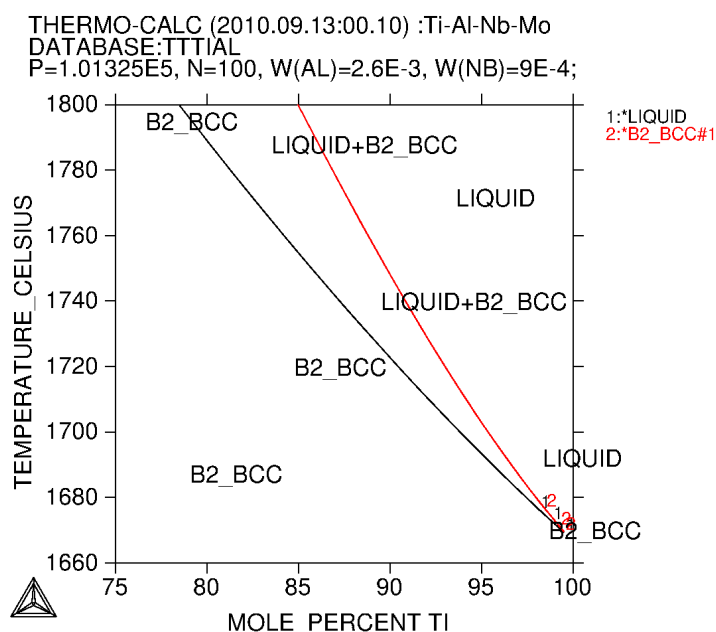
-BCC_A2 фазалары жоғары температурада тұрақтанады, ал алюминий мөлшері ұлғайған сайын оның шекарасы тарылып, HCP_A3 және Ti-Al фазаларымен ауыстырылады.

-Ti-Al фазалық диаграммасының орталық бөлігінде пайда болады, HCP_A3 фазасымен бірге екі фазалы аймақтың түсі орналасқан. Бұл аймақтар құрылымдық тұрақтылық пен беріктік үшін ерекше маңызды.

Кесте 6-жүйелердің фазалық диаграммаларының салыстырмалы талдауы

Жүйе (System)	Негізгі фазалар	Температура диапазоны	Пайда болатын интерметалдық қосылыстар	Термиялық тұрақтылық және қолдану
Ti-Al	HCP_A3, BCC_A2, TiAl, TiAl2, TiAl3	400–1800	TiAl, TiAl2, TiAl3	Жоғары температурада γ-TiAl тұрақты, авиация
Ti-Nb	HCP_A3, BCC_A2	400–1800	-	β-фаза тұрақты, биомедицина
Ti-Mo	HCP_A3, BCC_A2	400–1800	-	β-фаза тұрақты, энергия және авиация
Ti-Al-Nb-Mo	HCP_A3, BCC_A2, TiAl, TiAl#2, SIGMA	400–1800	TiAl, TiAl#2	Күрделі жүйе, кең температурада қолдануға жарамды

3.2 Ti–Al–Nb–Mo көпкомпонентті жүйесінің термодинамикалық модельдеуі нәтижесінде алынған фазалық диаграмма



output by user Admin on 2010.09.13:00.10

3.5 сурет- Қорытпаның құрамы бойынша нақты сипаттамалары
(Ti-61,79%, Al-26,84%, Nb-9,37%, Mo-2,00%)

Аталған төрт элементтен (Ti – 61,79%, Al – 26,84%, Nb – 9,37%, Mo – 2,00%) тұратын қорытпаның нақты құрамына сәйкес, ол диаграмманың орталық бөлігінде, фазалар арасында орналасқан. Ti-Al және BCC_A2. Бұл композиция:

-Жоғары температуралық беріктігімен және тотығуға төзімділігімен сипатталатын толқындық фазаның түзілуін қамтамасыз етеді.;

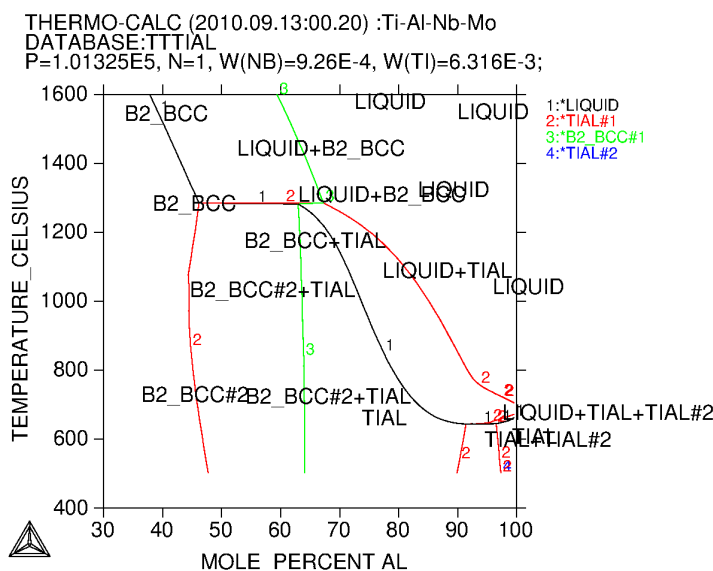
Nb және Mo элементтері бета-фазалық тұрақтандырғыштар (BCC_A2) ретінде әрекет етеді, яғни олар жоғары температурада материалдың құрылымдық тұрақтылығын қамтамасыз етеді;

Бұл композиция қаттылықтың, ыстыққа төзімділіктің және тозуға қарсы қасиеттердің теңдестірілген жиынтығын қамтамасыз етеді, бұл қорытпаны авиациялық және энергетикалық мақсаттарда тиімді етеді.

Қорытпа фазалық тепе-теңдік тұрғысынан Ti-Al және BCC_A2 фазаларының тепе-теңдік одағы аймағында орналасқан көп фазалы берік материал ретінде сипатталады.

Бұл көп компонентті диаграмма титан негізіндегі қорытпалардың күрделі жылулық әрекетін толық сипаттайды және әртүрлі температуралар мен Al концентрацияларына сәйкес қандай фазалар түзілуі мүмкін екенін дәл көрсетеді. Бұл мәліметтер механикалық қасиеттері жақсартылған жаңа жоғары температуралы қорытпаларды жасау үшін маңызды.

Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің бұл фазалық диаграммасы сенімді термодинамикалық негіз ретінде Thermo-Calc бағдарламасы арқылы алынды, бұл практикалық металлтану мен қорытпаларды өндіруде тиімділікті арттырады.



3.6 сурет-Қорытпаның қосымша сипаттамалары
(Ti-63,16%, Al-25,20%, Nb-9,26%, Mo-2,38%)

Бұл композиция Thermo-Calc диаграммасындағы B2_BCC және Ti-Al металлаларлық фазаларының аймағына сәйкес келеді. Диаграммада көрсетілгендей, осы құрамы бар қорытпаның келесі қасиеттері бар:

- B2_BCC фазасы жоғары температурада термиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді және титанның β -фазалық аймағымен байланысты;

- Ti-Al фазасы γ -фаза деп аталады, ол салмағы жеңіл және тотығуға төзімді болумен қатар, жоғары температурада жақсы механикалық қасиеттерге ие;

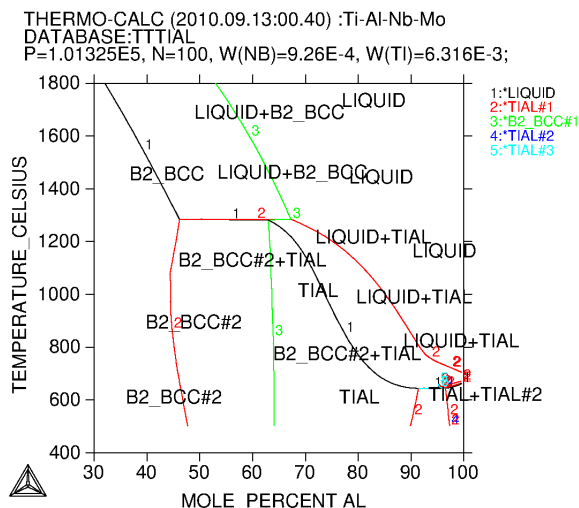
- B2_BCC + Ti-Al және Ti-Al + TiAl № 2 фазалық тепе-теңдік аймақтары бар, бұл оны беріктік, беріктік және құрылыстың тегістігі тұрғысынан тиімді етеді;

Nb және Mo элементтері β -фазаны тұрақтандырумен қатар диффузиялық процестерді баяулатады және құрылымның тұрақтылығын ұзақ мерзімді өзгерістерге дейін арттырады.

Бұл қорытпа аэроғарыштық, турбиналық және жоғары температуралы құрылымдық бөліктерде қолдануға перспективалы материалдардың бірі болып табылады. Ол балқымадан кейінгі қатаю кезінде көп фазалы тұрақтылық пен құрылымдық беріктікті қамтамасыз етеді.

Бұл көп компонентті диаграмма титан негізіндегі қорытпалардың күрделі жылулық әрекетін толық сипаттайды және әртүрлі температуралар

мен Al концентрацияларына сәйкес қандай фазалар түзілуі мүмкін екенін дәл көрсетеді. Бұл мәліметтер механикалық қасиеттері жақсартылған жаңа жоғары температуралы қорытпаларды жасау үшін маңызды. Атап айтқанда, мұндай қорытпалар аэроғарыш, энергетика және медицина салаларындағы перспективалы материалдардың бірі болып табылады.



output by user Admin on 2010.09.13:00.40

3.7 сурет-Қорытпаның қосымша сипаттамалары
(Ti – 59,03%, Al – 30,00%, Nb – 9,57%, Mo – 1,40%)

Осы құрам Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің фазалық диаграммасында Ti-Al фазасы мен B2_BCC#2 фазасының тұрақты бірлесу аймағына сәйкес келеді. Бұл фаза араласуы қорытпаның термиялық өндеуден кейінгі құрылымдық және механикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

-Al мөлшерінің 30% болуы Ti-Al фазасының басым аймақтарына жақын орналасуды қамтамасыз етеді, бұл қорытпаға жеңілдік пен тотығуға төзімділік қасиеттерін береді;

-Ti 59,03% мөлшері мен Nb және Mo қосындылары β -фазаның (B2_BCC#2) тұрақтануына себепші болады;

-Фазалық диаграммада бұл құрам B2_BCC#2 + Ti-Al, LIQUID + Ti-Al және Ti-Al + Ti-Al#2 фазалық аймақтарының қиылысында орналасады, бұл оны көпфазалы құрылыммен сипаттайды;

-Бұл қорытпа температура тұрақтылығы, қаттылығы мен ұзақ уақыттық жұмыс істеу мүмкіндігімен ерекшеленеді, сондықтан жоғары температурада жұмыс істейтін бөлшектер үшін тиімді тандау бола алады.

Бұл көпкомпонентті диаграмма титан негізіндегі қорытпалардың күрделі термиялық мінез-құлқын толық сипаттайды және әртүрлі температура мен Al концентрациясына сәйкес қандай фазалар түзілуі мүмкін екенін нақты көрсетеді. Бұл мәліметтер жаңа жоғары температураға төзімді, механикалық

қасиеттері жетілдірілген қорытпаларды жобалау үшін маңызды. Атап айтқанда, мұндай қорытпалар аэроғарыштық, энергетикалық және медициналық бағыттарда перспективалы материалдар қатарына жатады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жұмыста Ti–Al–Nb–Mo жүйесінің металлургиялық және термодинамикалық қасиеттеріне кешенді шолу жасалды. Жүйеде жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді зерттеу мақсатында әдебиеттегі мәліметтер негізінде негізгі фазалар мен олардың тұрақтылық аймақтары анықталды.

Thermo-Calc бағдарламасының көмегімен жүргізілген есептеулер нәтижесінде Ti–Al–Nb–Mo жүйесіне арналған T–X типті фазалық диаграмма тұрғызылып, температура мен элементтік құрамға байланысты фазалардың таралу ерекшеліктері көрсетілді. Есептеулер үшін нақты жүйеге сәйкес келетін TTTI немесе TCNEA деректер базасы таңдалып, сенімді нәтижелер алынды.

Температураға байланысты фазалар мөлшерін (phase fraction) есептеу нәтижесінде әртүрлі температура диапазоңдарында α , β , және интерметалдық фазалардың салыстырмалы мөлшері мен пайда болу/жоғалу температуралары талданды. Бұл қорытпа құрылымының термиялық тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік берді.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері Ti–Al–Nb–Mo жүйесіндегі көпкомпонентті титан қорытпаларын оңтайлы құрастыруға, олардың жоғары температурада жұмыс істеу қабілетін арттыруға, сондай-ақ механикалық қасиеттерін басқаруға ғылыми негіз қалыптастырды.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

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

ПАЙДАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009, 520 с.
2. Appel F., Paul J.D.H., and Oehring M. «Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology», Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, 2011, 745 p.
3. Vojtěch D. , Popela N., Hamáček J., Kützendörfer J. «The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide». Materials Science and Engineering A 528 (2011) 8557– 8564.
4. V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar , U. Hecht , S. Rexa, T.Ya. Velikanova «The Al–B–Nb–Ti system III. Thermodynamic re-evaluation of the constituent binary system Al–Ti». Journal of Alloys and Compounds 465 (2008) 65.
5. A. Suzuki, M. Takeyama, T. Matsuo «Transmission electron microscopy on the phase equilibria among b, a and a2 phases in Ti–Al binary system». Intermetallics 10 (2002) 915.
6. U. Kitkamthorn, L.C. Zhang, M. Aindow «The structure of ribbon borides in a Ti-44Al-4Nb-4Zr-1B alloy». Intermetallics 14 (2006) 759.
7. Y. L. Hao, R. Yang, Y. Y. Cui, D. Li « The influence of alloying on the $\alpha_2/(\alpha_2+\gamma)/\gamma$ phase boundaries in TiAl based systems». Acta mater. 48 (2000) 1313.
8. R. Kainuma, Y. Fujita, H. Mitsui, I. Ohnuma, K. Ishida « Phase equilibria among α (hcp), β (bcc) and γ (L10) phases in Ti–Al base ternary alloys». Intermetallics 8 (2000) 855.
9. R.M. Imayev, V.M. Imayev, M. Oehring, F. Appel « Alloy design concepts for refined gamma titanium aluminide based alloys». Intermetallics 15 (2007) 451.
10. V.T.Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, T.Ya. Velikanova «The Al–B–Nb–Ti system: IV. Experimental study and thermodynamic re-evaluation of the binary Al–Nb and ternary Al–Nb–Ti systems». Journal of Alloys and Compounds 472 (2009) 133.
11. Olga Shuleshova, Dirk Holland-Moritz, Wolfgang Loëser, Andrea Voss, Helena Hartmann, Ulrike Hecht, Victor T. Witusiewicz, Dieter M. Herlach, Bernd Buëchner «In situ observations of solidification processes in γ -TiAl alloys by synchrotron radiation». Acta Materialia 58 (2010) 2408.
12. G. Shao, P. Tsakiroopoulos «Solidification structures of Ti–Al–Cr alloys». Intermetallics 7 (1999) 579.
13. Xinhua Wu « Review of alloy and process development of TiAl alloys». Intermetallics 14 (2006) 1114.
14. V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, S. Rexa, T.Ya. Velikanova «The Al–B–Nb–Ti system III. Thermodynamic re-evaluation of the constituent binary system Al–Ti». Journal of Alloys and Compounds 465 (2008) 64.
15. B. Godfrey, M.H. Loretto «Origins of heterogeneities in plasma melted ingots of γ -TiAl». Materials Science and Engineering A266 (1999) 115–122.
16. J. Mia, R.A. Harding, M. Wickinsb, J. Campbell «Entrained oxide films in TiAl castings». Intermetallics 11 (2003) 377.

17. Su Yanqing, Guo Jingjie, Jia Jun, Liu Guizhong, Liu Yuan «Composition control of a TiAl melt during the induction skull melting (ISM) process». *Journal of Alloys and Compounds* 334 (2002) 261.
18. D. Hu, X. Wu, M.H. Loretto «Advances in optimisation of mechanical properties in cast TiAl alloys». *Intermetallics* 13 (2005) 914.
19. M. Thomas, J.L. Raviart, F. Popoff «Cast and PM processing development in gamma aluminides». *Intermetallics* 13 (2005) 944.
20. Yong Wang, J.N. Wang*, Jie Yang, Bin Zhang «Control of a fine-grained microstructure for cast high-Cr TiAl alloys». *Materials Science and Engineering A* 392 (2005) 235.
21. T.T. Cheng «The mechanism of grain refinement in TiAl alloys by boron addition — an alternative hypothesis». *Intermetallics* 8 (2000) 29.
22. D. Hu «Effect of composition on grain refinement in TiAl-based alloys». *Intermetallics* 9 (2001) 1037. Xinhua Wu, D. Hu «Microstructural refinement in cast TiAl alloys by solid state transformations». *Scripta Materialia* 52 (2005) 731.
23. J.N. Wang, K. Xie «Grain size refinement of a TiAl alloy by rapid heat treatment». *Scripta mater.* 43 (2000) 441.
24. Si-Young Sung, Young-Jig Kim «Modeling of titanium aluminides turbo-charger casting». *Intermetallics* 15 (2007) 468.
25. K. Liu, Y.C. Ma, M. Gao, G.B. Rao, Y.Y. Li, K. Wei, Xinhua Wu, M.H. Loretto «Single step centrifugal casting TiAl automotive valves». *Intermetallics* 13 (2005) 925.
26. Joaquim Barbosa, C. Silva Ribeiro, A. Caetano Monteiro «Influence of superheating on casting of γ -TiAl». *Intermetallics* 15 (2007) 945.
27. J.P. Kuang, R.A. Harding, J. Campbell «Microstructures and properties of investment castings of γ -titanium aluminide». *Materials Science and Engineering A* 329–331 (2002) 31.
28. J.P. Kuang, R.A. Harding, J. Campbell «The effects of HIP pore closure and age hardening on primary creep and tensile property variations in a TiAl XD™ alloy with 0.1 wt.% carbon». *Materials Science and Engineering A* 329–331 (2002) 31.
29. R.A. Harding, M. Wickins, H. Wang, G. Djambazov, K.A. Pericleous «Development of a turbulence-free casting technique for titanium aluminides». *Intermetallics* 19 (2011) 805.
30. Matthias Blum, Georg Jarczyk, Harald Scholz, Stefan Pleier, Peter Busse, Hans-Josef Laudenberg, Klaus Segtrop, Rainer Simon «Prototype plant for the economical mass production of TiAl-valves». *Materials Science and Engineering A* 329–331 (2002) 616.
31. Toshimitsu Tetsui «Development of a TiAl turbocharger for passenger vehicles». *Materials Science and Engineering A* 329–331 (2002) 582.
32. H. Saaria, J. Beddoesa, D.Y. Seob, L. Zhao «Development of directionally solidified γ -TiAl structures». *Intermetallics* 13 (2005) 937

