

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**

---

*Əlyazması hüququnda*

**RAMİL CƏBRAYIL OĞLU HACIYEV**

**TEHNİCİ TƏRKİBLİ ƏRİNTİLƏRİNDƏ FAZA**  
**ÇEVRİLMƏLƏRİNİN TƏDQIQI**

**3312.01 – “Materiallar texnologiyası”**

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün**  
**təqdim olunmuş dissertasiya işinin**

**A V T O R E F E R A T I**

**BAKİ – 2016**

Dissertasiya işi AMEA-nın Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbər:** - texnika elmləri doktoru, prof. Babanlı M.B

**Elmi məsləhətçi:** - kimya elmləri doktoru, prof. Əliyev İ.İ

**Rəsmi opponentlər:** - texnika elmləri doktoru, prof. Məmmədov Z.Q

- texnika elmləri namizədi, dos. Cabbarov T.Q

**Aparıcı təşkilat:** Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası (gəmi energetik qurğuları və gəmiqayırma kafedrası)

Dissertasiyanın müdafiəsi “21” sentyabr 2016-cı il saat 11<sup>00</sup>-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdindəki D02.171 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az 1073, Bakı, H.Cavid pr., 25.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “28” iyun 2016-cı ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya Şurasının  
elmi katibi, t.e.n., dos.

Rzayev E.D

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** İnnovativ texnologiyaların geniş tətbiqi yeni materialsız mümkün deyil. Ona görə də yeni və həmçinin xassələri öncədən verilmiş ərintilərin hazırlanması, emalı və tədqiqi materialşünaslığın aktual problemlərindədir. Bu tip materiallara forma- yaddaşlı və digər funksional xassələrə malik ərintilərin sintezi nəticəsində yaradılan intermetallik ərintilər aiddir. Belə effektdə yalnız termoelastiki martensit çevrilməsinə malik olan metal və ərintilərdə rast gəlinir. Bu çevrilmə nəticəsində austenit-martensit fazalararası sərhəddə rabitəlilik və hərəkətlilik saxlanılır.

Hal hazırda termoelastiki martensit çevrilməsi yeni materialların bütün sinfini təmsil edir. Cu-Al, Cu-Al-Ni, Cu-Zn, Cu-Zn-Si, Au-Cd, Ti-Ni və onlar əsasında ərintilər, İn-Tl, Fe-Pt və s. Bütün bunlar dünya ölkələrinin sənaye inkişafında tədqiqatın predmetini təşkil edir.

Titan-nikel ərintiləri texnika və tibbdə fiziki-mexaniki xassələrinə (korroziya və müqavimətə davamlı, legirlənmiş poladda möhkəmlik) görə praktiki tətbiq üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir. Ancaq bu ərintilərin də çatışmayan xassələri var. Belə ki, Ti-Ni ərintilərində funksional xassələr, qatılığın dar bir intervalında müşahidə olunur.

Titan-nikelid əsasında ərintilərin qeyri-ənənəvi metodla işlənməsi, bu ərintilərin texnikada istifadəsində bəzi mühəndis tapşırıqlarını əlavə emala ehtiyac olmadan həll edir. Belə ki, ifrat sürətlə tablandırma, müxtəlif metodlarla tozlandırma, ovuntu metallurgiyası və s. bu kimi qeyri ənənəvi metodlarla hazırlanan forma yaddaşlı ərintilər əlavə mexaniki emala məruz qalmadan tətbiq edilir.

Bu istiqamətdə məqsədyönlü tədqiqatın aparılması bir neçə səbəbdən aktuallıq yaradır;

-birincisi, forma yaddaşlı ərintilərdən ənənəvi texnologiya ilə məmulatların alınması həm iqtisadi cəhətdən baha başa gəlir, həm də həndəsi ölçüləri sifariş üçün tələbləri həmişə təmin edə bilmir;

-ikincisi, titan-nikel ərintilərində martensit çevrilməsinin fiziki təbiətinin öyrənilməsi və bu çevrilmələrin tədqiq edilməsi üçün yeni alınma texnologiyası işlənir;

Qeyri-ənənəvi metodun tətbiqi nəticəsində yeni quruluş halının (amorf, amorf-kristallik) alınması mümkündür. Bu quruluş halının məqsədli termiki emalı ilə termoelastiki martensit çevrilməsinin bütün xarakteristik parametrlərini dəyişmək olur.

Dissertasiya işi vacib məsələnin həllinə-ənənəvi (tökmə) və qeyri-ənənəvi (yüksək sürətli tablandırma) alınma metodlarının tətbiqi ilə titan-nikelid əsasında forma yaddaşlı yeni dördkomponentli ərintilərin işlənməsinə həsr olunmuşdur.

İş AMEA-nın Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunda məqsədli elmi-texniki proqram əsasında aparılmışdır. Bundan başqa tədqiqatlar digər beynəlxalq layihələrə uyğun olaraq aparılmışdır.

1. Forma yaddaşlı ərintilərdən nazik lent və örtüklərin alınma metodlarının işlənməsi mövzusunda YHTİQ - №5978 (2009-2011- ci il) layihəsi;
2. İlk amorf və nanokristallik halda titan – nikel əsaslı çoxkomponentli ərintilərin işlənməsi mövzusunda “EKO - NET” (2011-2013-cü il) layihəsi.

**Tədqiqatların məqsədi və qarşıya qoyulan məsələlər.** İşin məqsədi mühüm texniki problemin həllindən-titan-nikelid əsasında ənənəvi və qeyri-ənənəvi texnologiyalardan istifadə olunmaqla forma-yaddaş effektiv və digər funksional və mexaniki xassələrə malik olan dördkomponentli ərintilərin işlənilib hazırlanmasından ibarətdir.

Nəzərdə tutulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuşdur:

1. Binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsinin tətbiq edilməsi ilə temperatur-qatılıq modellərinin qurulması;
2. Müxtəlif temperaturalarda Cu-Ti, Cu-Hf sisteminin ərintilərinin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının öyrənilməsi;
3. Ərinti əmələgəlmə zamanı energetik xarakteristikaların dəyişməsinin öyrənilməsi;
4. Ti-Ni, Ni-Hf, Cu-Ti və Cu-Hf sistemlərində termodinamiki qarışma funksiyalarının temperaturdan asılılığının öyrənilməsi;

5. AB tipli dördkomponentli kvazibinar intermetallik birləşmələrin mikroquruluşunun əmələ gəlməsinin qanunauyğunluqlarını və B2 (CzCl) fazasının əmələ gəlmə şəraitini müəyyən etmək;
6. Termodinamiki xassələrdən istifadə etməklə ifrat sürətlə tablandırılan ərintilərin amorflaşmaya meyillik göstərən ən optimal tərkib sahəsinin tapılması;
7. Titan-nikel əsasında AB tipli kvazibinar intermetallik birləşmələrin tərkibi və maye əritidən ifrat sürətlə tablandırma metodu ilə hazırlanma zamanı texnoloji parametrlərinin mikroqurluşa və alınmış materialların termodinamiki xassələrinə təsirinin əsas qanunauyğunluqlarını müəyyənləşdirilməsi, bu metod əsasında amorf, amorf-kristallik və kristallik dördkomponentli ərintilər işlənib hazırlanması.
8. AB tipli kvazibinar birləşmənin dördkomponentli ərintilərində amorf haldan kristallaşmanın qanunauyğunluqlarını öyrənmək və forma-yaddaş effektiv nanokristallik və mikrokristallik quruluşların alınması üçün müəyyən ölçülü B2 fazasının əmələ gəlməsi məqsədilə texniki emal üsullarını işləyib hazırlamaq.
9. İlkin halda (amorf, amorf-kristallik, kristallik) və həm də kristallaşmadan sonra nano və mikrokristallik vəziyyətlərdə AB tipli kvazibinar birləşmənin dördkomponentli ərintilərinin mexaniki və funksional xassələrinin kompleks tədqiqini aparmaq.

**İşin elmi yenilikləri.** İlk dəfə olaraq binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi tətbiq edilmiş və Cu-Ti, Cu-Hf sistemləri üçün temperatur-qatılıq modelləri qurulmuşdur;

1. İlk dəfə olaraq Ti-Ni, Ni-Hf, Cu-Ti və Cu-Hf sistemlərində termodinamiki qarışma funksiyalarının temperaturdan asılılığı öyrənilmiş və alınmış nəticələrdən istifadə etməklə ifrat sürətlə tablandırılan ərintilərin amorflaşmaya meyillik göstərən ən optimal tərkib sahəsi tapılmışdır;
2. TiHfNiCu əsasında amorf, amorf-kristallik, kristallik hallarda maye əritidən ifrat sürətlə tablandırılmış ərintilərin alınması sistemli şəkildə işlənib hazırlanmışdır.

3. Müəyyən olunmuşdur ki, kvazibinar B2 birləşməsinin dördkomponentli ərintilərini işləyib hazırlamaq üçün daha optimal üçlü tərkib  $Ti_{50-x}Hf_xNi_{50}$  ( $x=0-25at.%$ ) və  $Ti_{50}Ni_{50-x}Cu_x$  ( $x=0-32at.%$ ) kimidir. Göstərilmişdir ki qeyd olunan intervallarda yüksək temperaturlu B2 birləşməsi davamlılığı ilə seçilir. Bu üçlü tərkiblər əsasında növbəti məsələlərin həlli üçün forma yaddaş effektiv dördlü ərintilər işləyib hazırlamaq olar.

4. Ənənəvi və qeyri-ənənəvi texnologiyalar ilə alma bilən forma-yaddaş effektiv və digər funksional xassəli dördkomponentli ərintilər üçün kimyəvi tərkibin seçilməsinin fiziki əsasları işlənib hazırlanmışdır. Göstərilmişdir ki, yüksək sürətli tablandırma metodu ilə kvazibinar AB birləşmələrinin alınması zamanı müxtəlif quruluş vəziyyətləri almaq olar: amorf, amorf-kristallik və kristallik.

5. Müxtəlif tərkibli dördlü TiHfNiCu ərintiləri işlənib hazırlanmışdır və əsas martensit parametrlərin daha yüksək temperaturlara keçidi zamanı martensit çevrilmələrinin ardıcılığının saxlanılması məsələsi həll olunmuşdur.

6. Amorf, amorf-kristallik və kristallik hallarda titan-nikelid əsaslı kvazibinar AB birləşməsinin dördkomponentli ərintilərinin metallik şüşə və amorf vəziyyətini xarakterizə edən  $T_g$ ,  $T_x$  və  $\Delta T$  kimi parametrlərin istifadəsi ilə sürətli tablandırılmış təbəqələrin termiki stabilliyi və elektrofiziki xassələri tədqiq olunmuşdur. Amorf, amorf-kristallik və kristallik hallarda titan-nikelid əsaslı kvazibinar AB birləşməsinin dördkomponentli ərintilərindən sürətli tablandırma yolu ilə alınan təbəqələrin elektrofiziki xassələrinin müqayisəli analizi aparılmışdır.

7. Mikroskopik (ilkin) və nonokristallik (kristallaşmadan sonra) AB kvazibinar birləşməsinin TiHfNiCu ərintilərindən sürətli tablandırılmış təbəqələrin martensit çevrilmələrinin sistemik tədqiqatları aparılmış və martensit çevrilmə parametrlərinin müqayisəli analizi verilmişdir.

8. Mikrokristallik və amorf vəziyyətlərdə kvazibinar birləşmənin TiHfNiCu ərintilərdən sürətli tablandırılmış təbəqələrin mexaniki xassələri öyrənilmişdir.

**İşin praktiki əhəmiyyəti.** İşdə formalaşdırılmış məsələlər forma-yaddaş effektiv və digər funksional xassəli Ti-Ni əsaslı kvazibinar AB

birləşməsinin TiHfNiCu ərintilərindən ənənəvi (induksiya və qövs metodları ilə hazırlanma) və qeyri-ənənəvi (maye ərintidən ifrat sürətli tablandırma) metodlarla alınmış məmulatların fiziki-mexaniki və funksional xassələrini artırmağa imkan verən optimal texnoloji rejimlərin yaradılmasının əsasını təşkil edir.

Titan-nikel və onun əsasında ənənəvi texnologiyaların istifadəsi ərintilərin alınmasının texnoloji zənciri TiHfNiCu ərintiləri işləyib hazırlamağa və onlarda martensit çevrilmələrinin xarakteristik temperaturlarını proqnozlaşdırmağa imkan vermişdir.

Alınma metodikasının genişliyinə, bahalılığına və texnoloji planda məsələlərin çətin həlləlməsinə görə TiHfNiCu ərintilər əsasında yüksək funksional və fiziki-mexaniki xassələrə malik nanokristallik və mikrokristallik ərintilərin alınmasında yeni, qeyri-ənənəvi texnoloji zəncirin istifadəsi üçün təklif verilmişdir.

Maye ərintidən planar metodla sürətli tablandırma vasitəsi ilə lentlərin alınmasının texnoloji zənciri işlənib hazırlanmışdır.

Titan-nikel kvazibinar birləşməsinin TiHfNiCu amorf ərintilərinin kristallaşması xüsusiyyətlərinin kinetikası öyrənilmişdir.

Avtomobil sənayesində tətbiq olunan titan-nikel dördkomponentli birləşmələrinin əsasında martensit çevrilmələrinin yüksək temperatur xarakteristikalarına ( $A_1=250-300^{\circ}\text{C}$ ) malik ərintilər işlənib hazırlanmışdır.

Tədqiqatların nəticəsi əsasında yeni tip materiallar-amorf, amorf-kristallik, kristallik vəziyyətlərdə alınmış A:B=50:50 nisbətli B2 kvazibinar intermetallik birləşmənin çoxkomponentli ərintiləri (Ti, Hf) A (Ni, Cu) yaradılmışdır. Sonrakı emal nəticəsində nazik quruluşlu materiallar kimi tətbiq olunan forma-yaddaş effektiv nanostruktur materiallar alınmışdır.

#### **Müdafiəyə qaldırılan müddəalar:**

1. 1573K və 1873K temperaturlarda Cu-Ti, Cu-Hf sisteminin ərintilərinin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılıqları;
2. Binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi tətbiq edilməsindən alınmış Cu-Ti, Cu-Hf sistemləri üçün temperatur-qatılıq modelləri;

3. Ti-Ni, Ni-Hf, Cu-Ti və Cu-Hf sistemlərində termodinamiki xassələrin öyrənilməsindən alınmış nəticələrin ifrat sürətlə tablandırma ərintilərin amorflaşmaya meyillilik sahəsinin müəyyənləşdirilməsi;

4. B2 (CzCl) quruluşlu və müəyyən temperatur intervalında forma-yaddaş effektiv AB tipli dördkomponentli kvazibinar intermetallik birləşmələrin üçlü sistemlər TiNiCu ( $A_f=+90^{\circ}\text{C}$ ), TiHfNi ( $A_f=+240^{\circ}\text{C}$ ) və dördlü sistem TiHfNiCu ( $A_f=+270^{\circ}\text{C}$ ) əsasında alınmasının ənənəvi texnologiyalarının fiziki əsasları;

5. İlkin amorf halda titan-nikel əsaslı dördkomponentli AB tipli kvazibinar intermetallik birləşmələrinin B2 ifrat sürətli bərkidilmə metodları ilə maye ərintidən B2 fazasının tənzimlənən ölçülü dənəli nanostruktur və mikrostruktur halının əmələ gəlməsi.

6. Müxtəlif (ənənəvi və qeyri-ənənəvi) metodlarla alınmış yeni forma-yaddaş effektiv ərintilərin işlənib hazırlanması zamanı praktiki olaraq reallaşmış kvazibinar TiNi birləşməsi əsasında TiHfNiCu ərintilərində materialın tərkib və quruluş halının məqsədyönlü dəyişməsinə, aralıq fazaların əmələgəlməsi və həlləlməsinə əsaslanmış martensit çevrilmələrin əsas xarakteristikalarının idarə edilməsi.

**Təcrübi tədqiqatların səhibliyi.** Müdafiəyə təqdim olunan müddəaların etibarlılığı məlum və xüsusi tədqiqat üsullarının tətbiqi ilə əsaslandırılır. TiHfNiCu forma-yaddaşlı ərintilərdə elementlərin paylanması, faza tərkibi metalloqrafik, mikrospektral, elektron mikroskopik, mikrorentgen spektral, skan kalorimetriya, differensial termiki analiz, həmçinin kimyəvi analiz üsulları ilə tədqiq edilmişdir. Nümunə və məhsulların mexaniki, funksional xassələri və istismar xarakteristikaları standart və xüsusi avadanlıq, stend və qurğularda öyrənilmişdir.

**İşin approbasiyası.** Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı respublika və beynəlxalq konfranslarda məruzə edilmişdir:

- AMEA-nın müxbir üzvü H.X.Əfəndiyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransı, Bakı-2007;
- "Fiziki-kimyəvi analiz və qeyri-üzvi materialşünaslıq" elmi konfransı, Bakı-2007;

- “Metallar fizikasının müasir problemləri” II Beynəlxalq elmi-praktik konfransı, Bakı-2009;
- “Təhsil və elmdə innovasiya texnologiyaları” Respublika Elmi-praktiki konfransı, Bakı-2010;
- “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” I beynəlxalq Elmi konfransı, Bakı-2010;
- “Yüksək texnologiyalar və ali təhsil” Beynəlxalq elmi-texniki konfransı, Bakı-2011;
- Thermam 2015, International conference on thermophysical and mechanical properties of advanced materials, 4<sup>th</sup> Rostocker international symposium, Baku-2015.

**İşin dərci.** Dissertasiyanın məzmunu 24 elmi əsərdə öz əksini tapmışdır, o cümlədən 3-ü xarici elmi jurnallarda dərc olunmuşdur.

**Dissertasiyanın həcmi və quruluşu.** Dissertasiya işi giriş, 4 fəsildən və ümumi nəticələrdən ibarətdir. Dissertasiya kompüter çapı ilə 165 səhifədən ibarətdir. İşdə 48 şəkil, 20 cədvəl və 158 adda ədəbiyyat siyahısı vardır.

## İŞİN MƏZMUNU

**Dissertasiyanın giriş** hissəsində tədqiqatların mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, müdafiyyəyə qaldırılan elmi məsələlər formalaşdırılmış, alınmış nəticələrin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyətinə qiymət verilmişdir.

**Birinci fəslində** titan-nikelid sisteminin tarazlıq hal diaqramı verilmiş, yaranan strukturların parametrləri və martensit çevrilməsi zamanı titan-nikel ərintilərində qəfəsin yenidən qurulması: elementar qəfəslərin ölçü-orientasiya və yerdəyişmə sxemləri analiz olunmuşdur. Forma-yaddaş effekti və martensit çevrilmələri ilə bağlı olan digər funksional xassələr müəyyən edilmişdir.

Titan-nikelid əsaslı forma-yaddaş effekti ərintilərdə tərkibin və termiki emalın xarakteristik temperaturalara, martensit çevrilməsi histerezisinə təsiri verilmişdir. Legirləyici elementlərin TiNiMe

ərintilərində xarakteristik temperatur və martensit çevrilməsinə təsiri ədəbiyyat xülasəsində araşdırılmışdır.

İkikomponentli metallik sistemlərdə termodinamiki xassələrinin ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi ilə təsviri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, ədəbiyyatda ikikomponentli metallik sistemlərdə, məsələn, Cu-Zn, Cu-Zr və Ni-Zr ərintilərdə, dayaq nöqtələri kimi komponentlərin qarışma entalpiyaları və aktivliklərinin məlumatlarının istifadə edilməsi ilə ərintidə assosiatların ixtiyari sayının əmələ gəldiyi halda qarışmanın termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsinin adaptasiya məsələlərinin analizinə geniş yer verilir.

Göstərilmişdir ki, intermetallik kövrək birləşmələrin əmələ gəldiyi çoxkomponentli ərintilərdə qeyri-ənənəvi metodların axtarışı vacibdir. Ərintilərdə yüksək sürətli tablamanın fiziki mahiyyəti araşdırılmış, mühəndis tələbatlarına yaxınlaşdırılmış məhsulların hazırlanmasının qeyri-ənənəvi texnologiyası təklif olunmuşdur. Belə ki, B2 quruluşlu titan-nikelid əsaslı çoxkomponentli (hətta üç və dördkomponentli) ərintilərin heç də hamısı intermetallik birləşmələrin kövrəkliyi hesabına təzyiqlə təzviq altında lazımı ölçüdə işləyib hazırlamaq olmur.

Lentlərin maye ərintidən ifrat sürətli tablandırma ilə alınmasının bəzi metodlarına baxılmışdır. Planar metodla alınmış sürətli bərkidilmiş lentlərin termiki emalının optimal rejimləri təklif olunmuşdur. Bu fəsildə həmçinin amorflaşmanın kinetikasının nəzəri əsaslarına dair ədəbiyyat məlumatları təqdim edilir.

Martensit çevrilmələri nəticəsində yaranan qeyri-adi mexaniki xassələr haqqında geniş ədəbiyyat məlumatı verilmişdir.

**İkinci fəslində** nümunələrin hazırlanması və tədqiqat metodları geniş analiz olunmuşdur. Ərintilərin ilkin hazırlanma texnologiyası və ifrat sürətlə soyutma nəticəsində təbəqələrin (lentlərin) alınması texnologiyası işlənmişdir.

Göstərilmişdir ki, bu işdə tədqiq olunan bütün təbəqələr planar tökmə (Planar Flow casting) metodu ilə hazırlanmışdır.

İfrat sürətlə hazırlanan lentlərə təsir edən əsas amillər analiz edilmiş, ədəbiyyatdan olan məlumatlarla müqayisədə bu iş üçün tətbiq edilmiş parametrlər göstərilmişdir:

- Diskin (diyircəyin) sürəti. Ədəbiyyatdan bilirik ki, soyuma sürəti disk sürətindən asılı olaraq dəyişir. Yəni disk sürəti artdıqca, soyuma sürəti də böyüyür, lakin sürət 20m/s-dən çox olduqda ərintinin sürəti zəifləyir, belə ki, alınan lentin disk səthi ilə təmas (kontakt) sahəsi kiçilir (mərkəzəqaçma qüvvəsinin artması hesabına). Diyircəyin sürətindən asılı olaraq lentlərin keyfiyyəti və qalınlığı dəyişir.
- Tiglin həndəsi ölçüləri.
- Ərintinin temperaturu (tökmə başlayan anda)
- Diskin (diyircəyin) materialı
- İnert qazın təzyiqi.

Nümunələrin termiki emalı üçün borulu vakuum sobasından istifadə edilməsi və bu prosesi özündə birləşdirən ardıcılıq göstərilmişdir. Nümunələrin tam termiki emalı üçün, qızdırılma sürəti, temperatur, saxlama müddəti (təyin olunmuş temperaturda) və paketin soyudulması prosesi tam araşdırılmışdır.

İkinci fəsildə həmçinin, tədqiq olunan nümunələrin nominal kimyəvi tərkibi, təbəqələrin qalınlığı, ərintinin çıxışdakı temperaturu və s. kimi parametrlər təqdim olunmuş, nümunələrin tədqiq edilmə metodları verilmişdir. TEM, SEM, XRD, işıq mikroskopu, xüsusi stend və avadanlıqlarla yanaşı kalorimetrik tədqiqat üsulları və onun mahiyyəti barədə geniş tədqiqat materialı verilmişdir.

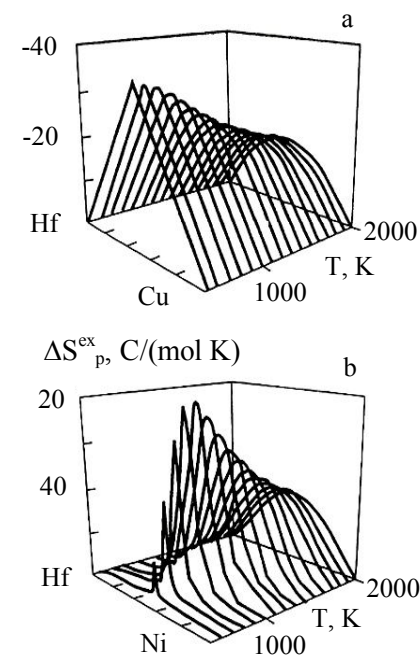
**Üçüncü fəsil** ərintilərin termodinamiki xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. İlkin olaraq, binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi təqdim olunur. Bu nəzəriyyə əsasında aşağıdakı müddəalar təklif olunur:

- ərintilərdə əmələ gələn assosiatların tərkibi və miqdarı kimi model parametrlərinin seçilmə qaydası. Bir tərəfdən o, assosiatın tərkibinin hal diaqramının görünüşü (məhz intermetallik fazaların tərkibi) və onun mühüm termodinamiki xassələrinin qatılıq gedişi arasında uyğunluq

prinsipinə əsaslanmışdır. Digər tərəfdən isə bütün temperatur-qatılıq intervalında modelləşdirilən xassələrin modelin parametrlərinin minimumlaşdırılmasına əsaslanır ki, ondan dayaq nöqtələri kimi istifadə olunur;

- bu metodla tərtib olunmuş model-ikikomponentli metallik məhlulların termodinamiki xassələrinin tədqiqinin müxtəlif şəraitlərdə təcrübə seriyaları nəticəsində alınan nəticələri ümumiləşdirmək və kompakt təsvir etmək üçün vasitədir;

- belə model böyük interpolasiya və ekstrapolyasiya imkanlarına malikdir ki, bu da onun həllində faza tarazlığının düzünə və əksinə məsələlərin həllinin geniş dairəsini istifadə etməyə imkan verir.



**Şəkl.1.** Cu-Ni sistemində ərinti əmələgəlmə prosesinin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığı: qarışma entalpiyası  $\Delta H$  (a) və əlavə istilik tutumu  $\Delta S^{\text{ex}}_p$ , C/(mol K) (b)

Üçüncü fəsildə həmçinin, ərintilərin sərbəst Gibbs enerjisinin, onun kimyəvi potensiallarının entropiyalarının və konfigurasiya tərkibinin faza tarazlığının həlli probleminə temperatur-qatılıq asılılığının modelləşməsinin istifadə edilməsindən alınmış nəticələr verilmişdir. Belə ki, nümunə kimi verilmiş modellər uğurla Cu-Hf və Ni-Hf sistemlərində amorf fazaların termodinamiki davamlılığını izah etmək üçün istifadə olunmuş və nəticə şəkil 1-də göstərilmişdir.

Dissertasiya işində tədqiq olunan bütün ikili sistemlər üçün qarışma entalpiyasının temperatur-qatılıq asılılığına aid verilənlərdən istifadə etməklə bizim tərəfimizdən maye ərintilərin əlavə istilik tutumunun temperatur-qatılıq asılılığı hesablanmışdır.

Metallik ərintilərin sürətli tablanması zamanı amorf fazaların əmələ gəlmələrinin əsas səbəblərindən biri maye məhlulların komponentləri arasındakı qarşılıqlı təsirin xüsusi xarakteri olduğu təqdim edilmişdir. Belə qarşılıqlı təsirə misal kimi maye, amorf və kristallik fazaların termodinamiki xassələri göstərilmişdir.

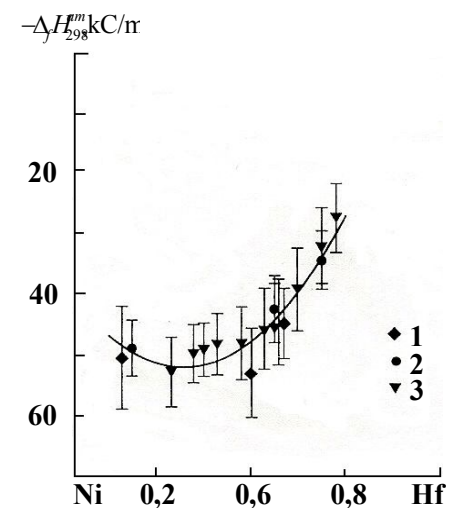
Ni-Hf sisteminin amorf ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyasının təyini zamanı təcrübə qoyulmuş və alınmış nəticələr ədəbiyyatda mövcud nəticələrə əsasən yoxlanılmışdır. Bu məqsədlə üç seriya ölçmə aparılmışdır, hər birində də 10-14 **ədəd** hafnium nümunələrinin həllolma istiliyi təyin edilmişdir. Cədvəl 1-də 1873 K-də Ni-Hf maye ərintilərin inteqral və parsial qarışma entalpiyaları (kC/mol) verilmişdir.

Şək. 2-də bizim tərəfimizdən alınan Ni-Hf sisteminin maye, amorf və kristallik ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyaları birgə təsvir olunmuşdur. Həm mütləq qiymətcə, həm də qatılıq asılılıqları xarakterinə görə onların göstəriciləri yaxındır və kondensləşmiş fazalarda komponentlərin güclü kimyəvi qarşılıqlı təsirini sübut edir. Komponentlər arasında güclü qarşılıqlı təsir enerjisi atomların məhlulda nizamsız paylanması kənarçıxmaya və müxtəlif təbiətli atomların qonşuluğu ilə qruplaşmaların yəni assosiatların və klasterlərin əmələ gəlməsinə gətirib çıxarmalıdır. Belə assosiatların və ya klasterlərin əmələ gəlməsinə assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi daha yaxşı təsvir edir.

Cədvəl 1

1873 K-də Ni-Hf maye ərintilərin inteqral və parsial qarışma entalpiyaları (kC/mol)

$X_{Hf}$	$-\Delta H$	$-\Delta \bar{H}_{Hf}$	$-\Delta \bar{H}_{Ni}$
0.0	0	221.9±9.5	0
0.1	20.0±0.8	185.6±7.3	1.6±0.1
0.2	36.0±1.2	139.2±4.8	10.2±0.3
0.3	45.0±1.4	81.8±3.3	29.7±0.6
0.4	46.9±1.5	42.3±2.3	50.3±1.0
0.5	44.6±1.9	27.2±1.9	62.0±1.9
0.6	40.3±3.0	20.4±2.0	70.3±4.5
0.7	31.5	-	-
0.8	22.0	-	-
0.9	11.2	-	-
1.0	0	-	-



Şək. 2. 298 K-də təmiz kristallik komponentlərdən Ni-Hf sisteminin amorf ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyaları: 1-cari iş; 2-ədəbiyyat məlumatlarına əsasən hesablar; 3-kristallaşma temperaturuna əsasən hesablar.

Alınmış nəticələr, məhz ərintinin komponentləri arasında qüvvətli kimyəvi qarşılıqlı təsirin geniş qatılıq intervalında Ni-Hf ərintilərinin amorflaşma imkanı ilə əlaqədar olduğunu göstərir. Bu onunla bağlıdır ki, ifrat soyudulmuş məhlulda rüseymlərin əmələgəlmə və kristallik fazanın inkişafı qarşılıqlı təsirdə olan quruluş birləşmələrinin dağılması ilə nəticələnməlidir.

İşdə Ni-Ti və Ni-Hf ərintilərinin əmələ gəlmə istiliyi 1873K-də kalorimetrik metodla tədqiq edilmişdir. Komponentlərin elektromənfilikləri arasındakı böyük fərq, onların ərinti əmələ gəlməsinin yüksək ekzotermik istiliyi, daha çox çətinəyən intermetallidlərin olduğu qatılıq intervalında minimum inteqral qarışma entalpiyalarının tapılması öyrənilən metallik ərintilərdə kimyəvi rəbitənin lokallaşmasının mümkünlüyü və nəticədə onlarda kimyəvi birləşmə tipində quruluş-qatılıq müxtəlifliyinin baş verməsi haqqında fikir deməyə imkan vermişdir.

Eksperimental tədqiqatların və irəli sürülmüş (tətbiq edilmiş) modelləşmənin nəticələri çərçivəsində ərinti əmələ gəlmə proseslərinin termodinamik parametrləri komponentlərin güclü qarşılıqlı təsiri və ərintidən assosiatların əmələ gəlməsinə meyillilik ərintinin sürətli soyudulma zamanı amorflaşmasına imkan yaradır. Mayenin komponent hissəciklərinin kristallik qəfəsdə güclü qarşılıqlı təsiri kristallaşma prosesini dayandırır. Bundan başqa strukturlaşmış maye yüksək özlülük göstərir ki, o da öz növbəsində kristallik qəfəsin formalaşması üçün vacib olan diffuziya prosesini çətinləşdirir.

Üçüncü fəsildə həmçinin Cu-Ti və Cu-Hf sistemində maye ərintilərin əmələ gəlmə entalpiyası da verilmişdir.

**Dördüncü fəsildə** ifrat sürətlə tablandırılmış  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  titan-nikelid əsasında çoxkomponentli kvazibinar AB birləşməsinin termiki stabilliyi, quruluşu və xassələrinə baxılmışdır.

İlkin tədqiqatlar  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sistemində maye ərintilərin əmələ gəlmə istiliyinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiqatçıların nikelin və misin Ti və Hf ilə əmələ gətirdiyi ərintilərinin termodinamik xassələrinə marağın ilk növbədə onların yüksək amorf əmələ

gətirmə xüsusiyyətləri ilə əlaqəli olduğu bu fəsildə alınmış nəticələrlə təsdiqini tapmışdır.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, metallik ərintilərin sürətli tablanması zamanı amorf fazaların əmələ gəlmələrinin əsas səbəblərindən biri maye məhlulların komponentləri arasındakı qarşılıqlı təsirin xüsusi xarakteridir. Amorf əmələgəlmə sistemlərinin termodinamiki xassələrinin, məsələn, müxtəlif aqreqat halındakı komponentlərin hissəciklərarası qarşılıqlı təsirinə inteqral əmələgəlmə entalpiyasını tədqiq etdiyimizdən biz ərintilərin tərkiblərini müəyyənləşdirə bilmişik. Üçüncü fəsildə alınmış nəticələrin tətbiqi ilə tərkiblər müəyyən edildi və bütün ərintilər ifrat sürətlə tablandırıldıqdan sonra yüksək keyfiyyətli təbəqələr hazırlandı.

Beləliklə, tədqiqat obekti olaraq ifrat sürətlə tablandırılmış  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin üç silsilə ərintiləri seçilmişdir:  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$ ,  $\text{Ti}_{35}\text{Hf}_{15}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  və  $\text{Ti}_{40}\text{Hf}_{10}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  ( $x=0; 5; 10; 15; 20$  və  $25\text{at.}\%$ ). İfrat sürətlə tablandırılmış bütün təbəqələrdə  $x=0, 5, 10\text{at.}\%$  olduqda təbəqələr amorf-kristallik quruluşa,  $x=15; 20$  və  $25\text{at.}\%$  olduqda isə amorf quruluşa malik olduqları müxtəlif metodlarla təsdiqlənmişdir.

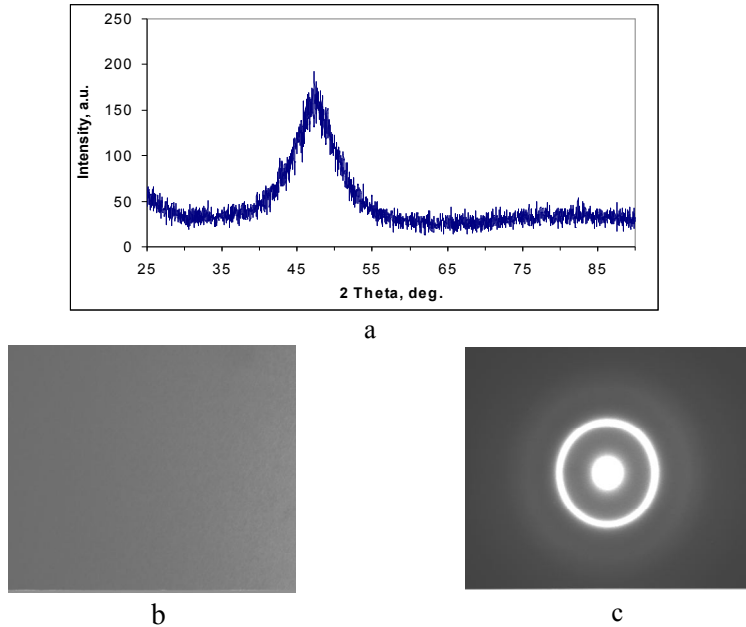
Şək.3a-da  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{35}\text{Cu}_{15}$  ərintisinin ifrat sürətlə tablandırılmış təbəqəsinin difraktoqramı verilmişdir. Belə spektr amorf quruluş üçün xarakterik olur. Yaxşı məlumdur ki, rentgenquruluş analiz amorf matrisada kristallik fazanın olmasını müəyyənləşdirmək üçün arzu olunan metod deyil. Ona görə də,  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{35}\text{Cu}_{15}$  ərintisinin quruluşunun tədqiqi üçün elektron mikroskopik tədqiqat aparılmışdır. Bu ərintinin ifrat sürətlə tablanmış lentinin tam parlaq təsviri şək. 3b-də verilmişdir. Şəkildəki birinci koordinasiya sferasından geniş diffuziya halqası- halo və digərindən zəif intensivlik dəyişməsinə görmək olur. Verilən elektron-mikroskopik təsvir və elektron difraksiya ilkin vəziyyətdə  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{35}\text{Cu}_{15}$  ərintisinin tamamilə amorf quruluşunu müəyyən edir.

$\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{45}\text{Cu}_5$  ərintisinin difraktoqramının identifikasiyası üçün B2, B19, B19' və  $\text{Ti}_2\text{Ni}$  kristallik fazaları tədqiq edilmişdir. Cədvəl 2-dən aşağıdakı nəticələr alınmışdır: amorf faza qəfəs parametrləri B2  $a=3,085\text{nm}$ ; B19  $a=0,293$ ;  $b=0,43$ ;  $c=0,462\text{nm}$  (şək. 4). Eyni vaxtda həm amorf, həm də kristallik faza olan difraktoqram xəttlərinin intensivliyi aşağı



olduğu üçün onları identifikasiya etmək çətinidir. Rentgenquruluş analizinin doğruluğundan əmin olmaq üçün əlavə olaraq elektron mikroskopik tədqiqat aparılmışdır.

İfrat sürətlə tablandırılmış  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{50}$  (a),  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{45}Cu_5$  (b)  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{40}Cu_{10}$  (c) və  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{35}Cu_{15}$  (d) ərintilərinin ilkin vəziyyətinin SEM mikrostrukturunu  $20^{\circ}C$  temperaturda təbəqənin azad səthindən çəkilmiş və şək.5-də verilmişdir.



**Şək. 3** Difraktoqram (a), mikrostruktur (b) və uyğun elektronogram (c),  $T=20^{\circ}C$ , təbəqənin azad səthi.

Bu tip SEM mikroquruluşlar, ifrat sürətlə tablandırılmış  $(TiHf)_{50}(NiCu)_{50}$  sisteminin hər üç silsilə ərintilərinin təbəqələri üçün xarakterikdir.

Termiki emal zamanı ifrat sürətlə tablanmış təbəqənin (tədqiq olunan bütün tərkiblərə aiddir) amorf fazasının nanoquruluşa keçməsi şək. 6-da göstərilmişdir.

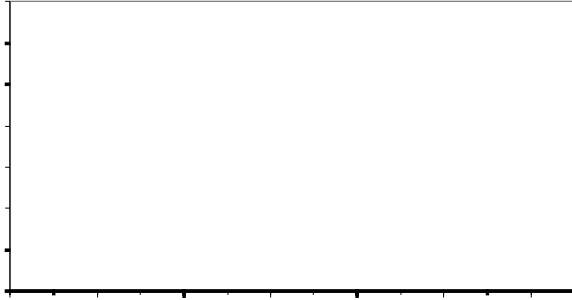
NiTiHf və TiNiCu ərintiləri əsasında mümkün kristallik fazalar

Ərinti, mənbə	Faza	Quruluş	Qəfəs parametrləri
$Ni_{50}Ti_{32}Hf_{18}$ [Dalle]	B 2	CzCl tipli HMK	$\alpha=0,3075$ nm
	B 19 <sup>i</sup>	monoklin	$\alpha=0,304$ ; $b=0,409$ ; $c=0,438$ ; $\beta=102,4^{\circ}$
$Ti_{50}Ni_{50-x}Cu_x$ [Babanlı, Lobodyuk]	B 2	CsCl tipli HMK	$\alpha=0,29-0,31$ nm
	B 19	ortorombik	$\alpha=0,29$ ; $b=0,427$ ; $c=0,451$ nm
	B 19 <sup>i</sup>	monoklin	$\alpha=0,29$ ; $b=0,40$ ; $c=0,45$ ; $\beta=100,2^{\circ}$
$NiTi$ , $NiTiHf$ [Dalle]	$Ti_2Ni$		$\alpha=1,1324$ nm

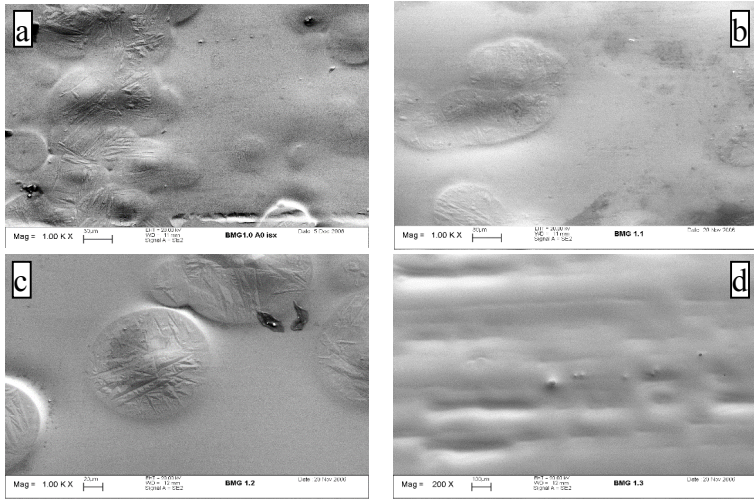
$Ti_{40}Hf_{10}Ni_{50-x}Cu_x$  ərintilərinin müxtəlif termiki emal rejimlərindən sonra termoelastiki martensit çevrilmələrinin əsas xarakteristik temperatur-ları cədvəl 3-də verilmişdir. Bütün nəticələr  $20K/dəq$  sürətlə qızdırma zamanı alınmışdır. Cədvəldən görüldüyü kimi ifrat sürətlə tablandırılmış  $Ti_{40}Hf_{10}Ni_{50-x}Cu_x$  ərintilərində termoelastiki martensit çevrilmələrinin əsas xarakteristik temperatur-ları qanunauyğun şəkildə dəyişir. Termiki emal üç rejimdə aparılmışdır:  $700^{\circ}C$  temperaturda 1 dəq saxlanılmaqla;  $600^{\circ}C$  temperaturda 60 dəq saxlanılmaqla və  $600^{\circ}C$  temperaturda 180 dəq saxlanılmaqla. Termiki emal temperaturundan asılı olan ciddi dəyişikliklər baş verməmişdir.

İfrat sürətlə tablandırılmış  $(TiHf)_{50}(NiCu)_{50}$  sisteminin ərintilərində termiki emalın xassələrə təsiri  $Ti_{32}Hf_{18}Ni_{50-x}Cu_x$  ərintilərinin nümunəsində öyrənilmişdir. Əsas mexaniki xassələrin dəyişməsi  $T=20^{\circ}C$ :  $\sigma_f$  (möhkəmlik həddi),  $E$  (Yunq modulu),  $\epsilon_{max}$  (dağılmaya qədərki deformasiya) cədvəl 4-də verilmişdir.

Alınmış nəticələr onu göstərir ki, ifrat sürətlə tablandırılmış  $Ti_{32}Hf_{18}Ni_{25}Cu_{25}$  təbəqəsində möhkəmlik həddi şüşələşmə temperaturuna qədər qeyri-adi mexaniki xassələr göstərir. Belə ki, tam amorf quruluşlu təbəqənin struktur təşkilediciləri arasında əlaqə artıq şüşələşmə temperatu-



**Şək. 4.** İlkin halda 20°C temperaturda ifrat sürətlə tablanmış  $Ti_{32}Hf_{18}Ni_{45}Cu_5$  təbəqənin difraktoqramı.



**Şək. 5.** İfrat sürətlə tablandırılmış  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{50}$  (a),  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{45}Cu_5$  (b)  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{40}Cu_{10}$  (c) və  $Ti_{35}Hf_{15}Ni_{35}Cu_{15}$  (d) ərintilərinin ilkin vəziyyətinin SEM mikrostrukturunu.  $T=20^{\circ}C$  təbəqənin azad səthi.



**Şək. 6.**  $Ti_{32}Hf_{18}Ni_{35}Cu_{15}$  ərintisinin termiki emaldan sonrakı (2 dəq,  $T=496^{\circ}C$ -də mikroquruluşu (a) və elektron difraksiyası (b).

rundan aşağıda pozulmağa başlayır və minimum qiymətinə  $425^{\circ}C$ -də çatır, daha yüksək temperaturda qızdırdıqda isə yenidən əvvəlki qiymətini alır.

Bu ərintidə dağılmaya qədərki deformasiya göstəriciləri də  $425^{\circ}C$ -də təbəqələrdə qeyri-adi proseslərin baş verdiyini təsdiqləyir. Qeyd olunduğu kimi, Yunq Modulu da minimal qiymətə bu temperaturda çatır. Beləliklə, ifrat sürətlə tablandırılmış və əlavə olaraq qızdırılmış  $Ti_{32}Hf_{18}Ni_{50-x}Cu_x$  ərintiləri qeyri-adi mexaniki xassələri  $T_g-T_x$  intervalında göstərir, bu da həmin ərintilərin təkə forma yaddaşlı ərintilər kimi deyil həm də yüksək mexaniki xassələr göstərən materiallar kimi tətbiqini genişləndirə bilər.

Mexaniki xassələr ifrat sürətlə tablandırılmış  $(TiHf)_{50}(NiCu)_{50}$  sisteminin hər üç silsilə ərintilərində öyrənilmiş və nəticələrin yaxın olduğunu nəzərə alaraq yalnız bir silsilə ərintilər üçün təqdim edilir.

**Cədvəl 3**

Ti<sub>40</sub>Hf<sub>10</sub>Ni<sub>50-x</sub>Cu<sub>x</sub> ərintilərinin müxtəlif termiki emal rejimlərindən sonra termoelastiki martensit çevrilmələrinin əsas xarakteristik temperaturları. Bütün nəticələr 20K/dəq sürətlə qızdırma zamanı alınmışdır.

Kimyəvi tərkib	M <sub>s</sub> , °C	M <sub>f</sub> , °C	A <sub>s</sub> , °C	A <sub>f</sub> , °C	ΔT <sub>M</sub> =M <sub>s</sub> - M <sub>f</sub> , °C	ΔT <sub>A</sub> =A <sub>s</sub> - A <sub>f</sub> , °C
700°C temperaturda, 1 dəq saxlanıldıqdan sonra						
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>50</sub>	90	20	60	160	70	40
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>5</sub>	-48	-100	20	46	52	26
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>10</sub>	-46	-66	-10	24	20	14
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>40</sub> Cu <sub>15</sub>	-60	-80	-35	-16	20	19
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>35</sub> Cu <sub>20</sub>	-45	-67	-40	-23	22	17
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>25</sub> Cu <sub>25</sub>	-60	-86	-76	-38	26	38
600°C temperaturda, 60 dəq saxlanıldıqdan sonra						
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>50</sub>	78	45	90	150	33	60
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>5</sub>	3 -50	-40 -90	28 -20	52 25	43 40	24 45
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>10</sub>	-28	-42	7	40	14	33
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>40</sub> Cu <sub>15</sub>	-50	-70	-30	-10	20	20
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>35</sub> Cu <sub>20</sub>	-40	-65	-45	-15	25	30
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>25</sub> Cu <sub>25</sub>	-35	-55	-40	-10	20	30
600°C temperaturda, 180 dəq saxlanıldıqdan sonra						
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>50</sub>	78	45	100	155	33	55
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>5</sub>	3	-34	15	70	37	55
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>10</sub>	-20	-35	12	46	15	34
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>40</sub> Cu <sub>15</sub>	-40	-65	-25	3	25	28
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>35</sub> Cu <sub>20</sub>	-38	-54	-28	-7	16	21
Ti <sub>40</sub> Hf <sub>10</sub> Ni <sub>25</sub> Cu <sub>25</sub>	-24	-46	-26	-2	22	24

**Cədvəl 4**

Ti<sub>32</sub>Hf<sub>18</sub>Ni<sub>50-x</sub>Cu<sub>x</sub> ərintilərində əsas mexaniki xassələrin dəyişməsi T=20°C: σ<sub>f</sub> (möhkəmlik həddi), E (Yunq modulu), ε<sub>max</sub> (dağılmaya qədərki deformasiya).

Nominal kimyəvi tərkib, at. %	nisbət A:B	“ilkın” quruluş	σ <sub>f</sub> , MPa	E, QPa	ε <sub>max</sub> , %
Ti <sub>32</sub> Hf <sub>18</sub> Ni <sub>45</sub> Cu <sub>5</sub>	50:50	Amorf.+Kr.	680	16,6	4,2
Ti <sub>32</sub> Hf <sub>18</sub> Ni <sub>35</sub> Cu <sub>15</sub>	50:50	Amorf.	740	15,4	4,6
Ti <sub>32</sub> Hf <sub>18</sub> Ni <sub>25</sub> Cu <sub>25</sub>	50:50	Amorf.	1110	15,0	7,3

### ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

1. Binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılığının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi tətbiq edilmiş və Cu-Ti, Cu-Hf sistemləri üçün temperatur-qatılıq modelləri qurulmuşdur;

2. Ti-Ni, Ni-Hf, Cu-Ti və Cu-Hf sistemlərində termodinamiki qarışma funksiyalarının temperaturdan asılılığı öyrənilmiş və alınmış nəticələrdən istifadə etməklə ifrat sürətlə tablandırılan ərintilərin amorflaşmaya meyillilik göstərən ən optimal tərkib sahəsi tapılmışdır;

3. TiHfNiCu əsasında amorf, amorf-kristallik, kristallik hallarda maye ərintidən ifrat sürətlə tablandırılmış ərintilərin alınması sistemli şəkildə işlənib hazırlanmışdır;

4. Ərintidə müxtəlif cinsli atomların- misin Ti və Hf ilə qarşılıqlı təsiri və intermetallik birləşmə tipli müxtəlif cinsli atomlardan mikroqruplaşmanın əmələ-gəlmə mümkünlüyü haqda verilən fərziyyə assosiasiya olunmuş ideal məhlul nəzəriyyəsi daxilində təsdiqlənmişdir;

5. Ənənəvi və qeyri-ənənəvi texnologiyalar ilə alına bilən forma-yaddaş effektiv və digər funksional xassəli dördkomponentli ərintilər üçün kimyəvi tərkibin seçilməsinin fiziki əsasları işlənib hazırlanmışdır. İfrat sürətlə tablandırılmış (TiHf)<sub>50</sub>(NiCu)<sub>50</sub> sisteminin ərintilərində tərkibdən asılı olaraq müxtəlif struktur vəziyyətləri almaq mümkündür: amorf-kristallik və ya amorf.

6.  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin ərintilərində martensit çevrilməsinin misin konsentrasiyasının temperatur asılılığının xarakteri maye haldan tablama ilə alınmış təbəqələrdə dəyişmiş.

7.  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin ərintilərində Tg-Tx intervalında termiki emaldan sonra amorf fazasının qismən kristallaşması (qızdırılma sürəti 20K/dəq) baş verir.

8. Nümunələrin termiki emalından sonra kristallaşma istiliyinin qiyməti,  $\Delta H$  (20°C-dən 600°C-dək) azalır. Bununla yanaşı yeni yaranmış B2 fazanın kristallarında (-150°C÷+600°C temperatur intervalında) martensit çevrilməsi baş vermir. Bu yeni yaranan dənələrin “ölçü faktoru” ilə izah olunur.

9.  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin ərintiləri üçün amorf və kristallik vəziyyətlərdə elektrik müqavimətinin müxtəlif temperatur asılılıqları müəyyən olunmuşdur.

10. İfrat sürətlə tablandırılmış və əlavə olaraq qızdırılmış  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin ərintilərin qeyri-adi mexaniki xassələri Tg-Tx intervalında göstərir, bu da həmin ərintilərin təkə forma yaddaşlı ərintilər kimi deyil həm də yüksək mexaniki xassələr göstərən materiallar kimi tətbiqini genişləndirə bilər.

11.  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$  sisteminin ərintiləri üçün termiki emal nəticəsində nazik quruluşlu materiallar kimi tətbiq olunan forma-yaddaş effektiv nanostruktur materiallar alınmışdır.

#### **Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə şərh olunmuşdur:**

1. Nəcəyev R.C., Əliyev İ.İ., Babanlı M.B. İfrat sürətlə tablandırılmış TiNi əsaslı çoxkomponentli ərintilərin quruluşu // AMEA-nın müxbir üzvü H.X.Əfəndiyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi konfransın materialları. Bakı-2007.s.87.

2. Babanlı M.B., Aliyev I.I., Gadzhiyev R.D. Особенности получения сплавов в аморфном состоянии. Сборник научных трудов // Физико-химический анализ и неорганическое материаловедение», Баку, 2007, с.135 – 140.

3. İsmayılov T.İ., Nəcəyev R.C., Pənahov T.M., Babanlı M.B. İfrat sürətlə tablandırılmış TiHfNiCu ərintilərdə faza çevrilmələri // H.Əliyev adına ANM Elmi əsərlər məcmuəsi, 2008, №2 с.42-45.

4. Babanlı M.B., Gadzhiyev R.D., Aliyev I.I. Механизмы затвердевания при получении аморфной и микрокристаллической ленты // Фундом. науч. тр., 2008, т. VII (27), №3 с.37-42.

5. Gadzhiyev R.D., Aliyev I.I., Babanlı M.B. Структура и форма фольг многокомпонентных сплавов на основе Ti-Ni // Проблемы Химии, 2008, №4, с.661-665.

6. Gadzhiyev R.D., Aliyev I.I., Salimov Z.Ə., Babanlı M.B. Структурные исследования аморфных сплавов // Фундом. науч. тр., 2009, т. VIII (31), №3 с.39-46.

7. Babanlı M.B., Gadzhiyev R.D., Aliyev I.I. Структурные модели аморфного состояния // Сборник научных трудов, «Современные проблемы физики металлов», 2009, с.108-112.

8. Babanlı M.B., Salimov Z.Ə., Gadzhiyev R.D., Guseyn-Pur G. Аморфное состояние в быстрозакаленных сплавах  $(\text{Ti,Hf,Zr})_{50}(\text{Ni,Cu})_{50}$  // Сборник научных трудов, «Современные проблемы физики металлов», 2009, с.101-105

9. Nəcəyev R.C., Babanlı M.B., Qəhrəmanov F.Q. TiHfNiCu ərintilərində martensit çevrilmələri // Материалы науч.конфер. АзТУ, Баку, 2009, с.321-323.

10. Babanlı M.B., Gadzhiyev R., Portyev P., Vermo F., Prima F., Oshan P. Особенности перехода быстрозакаленных многокомпонентных сплавов  $\text{Ti}_{40}\text{Hf}_{10}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  из аморфного в кристаллическое состояние // “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi”, Bey.Elmi konfr. Materialları, 2010, с.62-67.

11. Babanlı M.B., Salimov Z.Ə., Gadzhiyev R.D., Azimova L.G., Sharifov M.X. Forma yaddaşlı ərintilərin yeni üsulla alınması // Материалы науч.конфер. АзТУ, Баку, 2010., с.344-346.

12. Babanlı M.B., Azimova L.G., Gadzhiyev R.D. Аморфные металлические материалы // Механика Машингайырма, 2010, №2, səh.70-73

13. Hacıyev R.C., Əliyev İ.İ., Əliyeva S.B., Babanlı M.B. Binar ərintilərin termodinamiki xassələrinin temperatur-qatılıq asılılıqlarının təsviri üçün ideal assosiasiya olunmuş məhlul nəzəriyyəsi // Kimya problemləri, 2010, N4, s.716-720.

14. Гаджиев Р.Д., Алиев И.И., Бабанлы М.Б. Структурные состояния в сплавах системы  $(Ti,Hf)_{50} (Ni,Cu)_{50}$  при закалке из расплава // Журнал Известия Вузов. Химия и химическая технология, 2011, т.54, №4, с.58-61.

15. Гаджиев Р.Д., Азимова Л.Г., Гусейнов В.М., Бабанлы М.Б. Методика получения наноструктурных сплавов с эффектом памяти формы // “Yüksək texnologiyalar və ali təhsil”, Respublika Elmi konfr. Materialları, 2011, AzTU, Elmi əsərlər, с.63-66.

16. Гаджиев Р.Д., Азимова Л.Г. Исмаилова К.Г., Бабанлы М.Б. Методы получения аморфных и микрокристаллических сплавов // журнал "Процессы литья", 2011, № 6, с. 63-69.

17. Hacıyev R.C., Əliyev İ.İ., Babanlı M.B., Əliyeva S.B. Titanın mislə maye ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyası // Проблемы Химии, 2011, №4, с.585-591.

18. Hacıyev R.C., Əliyev İ.İ., Əzimova L.Q., Babanlı M.B. Mislə hafniumun maye ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyası // Elmi əsərlər Fundamental elmlər, 2011, т. X(40), №4, s.29-32.

19. Гусейнов В.М., Гаджиев Р.Д., Бабанлы М.Б. Механические свойства многокомпонентных сплавов  $TiHfNiCu$  полученные инновационными технологиями // Международная конференция «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» Томский Политехнический Университет, г.Юрга, 2012, Сб.трудов, стр.153-156.

20. Hacıyev R.C., Babanlı M.B., Qəhrəmanov F.Q., Əliyev İ.İ. Ni-Zr sistemində maye və amorf fazaların əmələgəlmə entalpiyası // “Metallurgiyanın və materialşünaslığın müasir problemləri” beynəl.konf. materialları, AzTU Elmi əsərləri, Bakı, , 2013, с.105-109.

21. Hacıyev R.C., Əliyev İ.İ., Babanlı M.B. Mislə sirkoniumun maye ərintilərinin əmələgəlmə entalpiyası // Azərbaycan Kimya jurnalı 2013, №1, s.94-98.

22. İsmayılova K.H., Hacıyev R., Babanlı M.B. İON-Plazma və maqnetron metodları ilə forma yaddaşlı ərintilərin işlənməsi // Azərbaycan Texniki Universiteti elmi əsərlər fundamental elmlər.№3 cild 1, Vol.1 Bakı-2014. Səh.23-26.

23. Əzimova L., Hacıyev R., Babanlı M. Maye haldan ifrat sürətlə tablanmış  $TiNiCu$  amorf ərintilərinin kristallaşma kinetikasi // Azərbaycan Texniki Universiteti elmi əsərlər fundamental elmlər.№3 cild 1, Vol.1 Bakı-2014. Səh.27-30.

24. Azimova L., Hadjiyev R., Babanli M. Crystallization in the amorphous structured  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  alloy // Thermam 2015, International conference on thermophysical and mechanical properties of advanced materials, 4<sup>th</sup> Rostocker international symposium.

## РЕЗЮМЕ

Рамиль Джабраил оглы Гаджиев

### ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В СПЛАВАХ TiHfNiCu

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию фазовых превращений в быстрозакаленных сплавах **TiHfNiCu**.

**Целью работы** является разработка новых четырехкомпонентных сплавов на базе никелида титана с эффектом памяти формы, с применением традиционных и не традиционных технологий с особыми функциональными и механическими свойствами.

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, общих выводов и списка использованной литературы.

**Во введении** представлена цель научных исследований, обоснованы актуальность темы и научное и практическое значения работы.

**В первой главе** проведен анализ литературы по структурному составу двухкомпонентных сплавов никелида титана. Выполнен обширный анализ влияния легирования никелида титана третьим и четвертыми элементами, а также сущность сверхбыстрой закалки из расплава. А также проведен анализ работ, посвященных термодинамике жидких сплавов.

**Во второй главе** приведены составы исследованных лент быстрозакаленных сплавов, а также рассмотрены основные методы исследований, которые применены в данной работе.

**В третьей главе** приведены результаты калориметрических исследований энтальпии смешения в двойных сплавах Ti-Ni, Cu- Hf, Hf-Ni и Ti-Cu. Установлено, что энтальпии образования жидких сплавов изученных систем характеризуются значительными отрицательными величинами. Показана преобладающее влияние электрохимического фактора на энергетику процесса сплавообразования. Эта гипотеза была проверена в рамках теории идеального ассоциированного раствора. Полученные в работе модели с удовлетворительной точностью описывают термодинамические свойства аморфных сплавов.

**В четвертой главе** приведены результаты исследований структуры, термической стабильности, фазовые превращения после термической обработки и особенности механических свойств в быстрозакаленных сплавах  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$ . Во всех исследованных сериях:  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$ ,  $\text{Ti}_{35}\text{Hf}_{15}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  и  $\text{Ti}_{40}\text{Hf}_{10}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  ( $x = 0, 5, 10, 15, 20$  в  $\%$ ) установлено, что при  $x = 0, 5, 10$  at.% имеется аморфно-кристаллическая, а при  $x = 15, 20$  в  $\%$  чисто аморфная структура. А также установлено, что имеется особенность в процессе кристаллизации и получены высокие механические свойства в интервале  $T_g$ - $T_x$ .

## RESUME

Ramil Hadjiyev

### PHASE TRANSFORMATIONS IN TiHfNiCu ALLOYS

The thesis is devoted to the development and research of phase transformations in rapidly quenched alloys **TiHfNiCu**.

**The aim of the thesis** is to develop a new four-component alloys based on nickel-titanium with shape memory, by using traditional and conventional technologies with special functional and mechanical properties.

The thesis consists of an introduction, 4 chapters, general conclusions and bibliography.

**The introduction** presents the purpose of the scientific research, the urgency of topics and scientific and practical value of the work.

**The first chapter** covers the analysis of the literature on the structural composition of the binary alloy NiTi. The comprehensive analysis of the impact of doping NiTi with third and fourth elements, as well as the nature of ultrafast quenching from the melt was completed. Moreover, the analysis of works devoted to the thermodynamics of liquid alloys was conducted.

**The second chapter** shows the compositions of investigated rapidly quenched alloy ribbons, as well as the basic research methods applied in this paper.

**The third chapter** presents the results of calorimetric studies of enthalpy of mixing in binary alloys Ti-Ni, Cu-Hf, Hf-Ni and Ti-Cu. It was found that the enthalpy of formation of liquid alloys of the researched systems is characterized by high negative values. The dominant influence of the electrochemical factor on energy of the alloying process is shown there. This hypothesis was tested in the framework of the ideal associated solution theory. The models obtained during the research describe with satisfactory accuracy the thermodynamic properties of amorphous alloys.

**The fourth chapter** presents the results of researches on the structure, thermal stability, phase transformations after heat-processing and mechanical properties especially in rapidly quenched alloys  $(\text{TiHf})_{50}(\text{NiCu})_{50}$ . It was found out that at in all series  $\text{Ti}_{32}\text{Hf}_{18}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$ ,  $\text{Ti}_{35}\text{Hf}_{15}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  и  $\text{Ti}_{40}\text{Hf}_{10}\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x$  ( $x = 0, 5, 10, 15, 20$  в  $\%$ ), the amorphous-crystallic structure prevails at  $x = 0, 5, 10$  at.%, pure amorphous structure at  $x = 15, 20$  в  $\%$ . It was also found that the process of crystallization has a feature and high mechanical properties are obtained within interval  $T_g$ - $T_x$ .

**РАМИЛЬ ДЖАБРАИЛ оглы ГАДЖИЕВ**

**ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В СПЛАВАХ TiHfNiCu**

**3312.01 – «Технология Материалов»**

**диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии по техническим наукам**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**БАКУ – 2016**