

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**YÜKSƏK PLASTİKİ DEFORMASIYA İLƏ TİTAN
ƏRİNTİLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 3312.01 – “Materiallar texnologiyası”

Elm sahəsi: Texniki elmlər

İddiaçı: **Hüseynov Vüsal Mədəd oğlu**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
tədqim edilmiş dissertasiyanın

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

Bakı– 2023

Dissertasiya işi Fransa Respublikasının Sorbonne Universitetinin Chimie Paris Tech –PSL-in nəzdində olan “Structural Metallurgy” (“Metallurgiyanın Strukturu”) laboratoriyasında, Azərbaycan Texniki Universitetinin “Metallurgiya və materiallar texnologiyası” və Azərbaycan Dövlət Sənaye Universitetinin “Materialşünaslıq və emal texnologiyası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Texnika elmləri doktoru, professor
Mustafa Baba oğlu Babanlı

Rəsmi opponentlər: 1. Texnika elmləri doktoru, professor
Ələkbər Ağasəf oğlu Həsənov

2. Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Yeganə Əyyub qızı Əbdülzəlimova

3. Texnika elmləri namizədi,
Əyyam Qoşqar oğlu Abbasov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurası



Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmləri doktoru, professor
Mustafa Baba oğlu Babanlı

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Tahir Qaffar oğlu Cabbarov

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, dosent

Qəhrəman Söyün oğlu Həsənov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Texnikada istifadə edilən materiallar içərisində geniş tətbiqi potensiala malik çətin əriyən metal əsaslı ərintilərə böyük tələbat duyulmaqdadır. Hal-hazırda müxtəlif xassələrə malik və müasir tələbləri əhatə edə bilən çoxlu sayda material və metal ərintiləri dizayn edilməkdədir. Yeni materialların alınmasında material seçimi olduqca önəmli amildir və nəticə etibarilə istər texnoloji baxımdan, istərsə də, son mərhələdə materialın keyfiyyət göstəriciləri baxımdan həlledici rola malikdir. Material seçimi yalnız praktiki deyil, həm də nəzəri cəhətdən diqqət çəkir. Dizayn ümumilikdə texniki və iqtisadi şərtlərə əsasən qiymətləndirmə və sıralama məlumatlarının daxil edilməsi ilə verilənlər bazasının informasiya mənbələrinin təmin edilməsi prinsipinə əsaslanır. Qeyd olunanları nəzərə almaqla, qeyri-səlis anlayışlara istinad edərək, yeni material seçimində qalay konsentrasiyasının az miqdarda tətbiqi legirlənmə zamanı titan-molibden ərintilərinin plastikliyini itirmədən möhkəmləndirilməsi üçün effektiv hesab olunmaqla yeni yanaşmanı ortaya qoymuş olur. Ərinti elementlərinin konsentrasiyalarının birləşdirilməsi yüksək plastiklik və yüksək gərginlik göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasına xidmət göstərir. Bu işə yeni material seçimində ən yaxşı həll yollarının tapılmasına yol açır və yeni dizayn konsepsiyasının yaradılmasına zəmin yaradır. Qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinə istinad edərək yeni material seçimində qalay konsentrasiyasının az miqdarda tətbiqi legirlənmə zamanı titan-molibden ərintilərinin plastikliyini itirmədən möhkəmləndirilməsi üçün effektiv hesab oluna bilən ərinti elementlərinin konsentrasiyalarının belə birləşdirilməsi vasitəsi yüksək plastiklik və yüksək gərginlik göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasına kömək edir. Bu cür nəzəri yanaşma yeni material seçimində ən yaxşı həll yollarının tapılmasına kömək edərək, yeni dizayn konsepsiyasını irəli sürmək bütün təminədiçi parametrləri ödəyə bilir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Qeyri-səlis nəzəriyyəyə əsaslanan titan-molibden-qalay ərintiləri üçün yeni material seçimi problemlərində mövcud olan qeyri-müəyyənliyin, mürəkkəbliyin və material sintezində müxtəlif müasir yanaşmaların, həmçinin bu qrupa mənsub olan ərintilərin mexaniki xassələrinin və müxtəlif deformasiya dərəcələrində struktur dəyişmələrinin tədqiq edilməsidir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər öz həllini tapmışdır:

- Ti-Mo-Sn əsaslı yeni üçlü ərintinin dizayn konsepsiyasının hazırlanmasında, bu ərintilərə əsaslanan material seçimində ilkin olaraq titan ərintilərinin müasir texnologiyada tətbiqinin xüsusiyyətləri və legirleyici elementlərinin təsir xarakterinin öyrənilməsi;
- Qeyri-səlis nəzəriyyə əsasında yeni material seçimində çoxsaylı qərara alma metodlarını, qeyri-səlis hesablama əsaslı metodlarını, eksperimentlərin və müzakirə məlumatlarının etibarlılığının nəzərə alınmasında yeni yanaşmaların tədqiqi;
- Müasir, “Big data”, qeyri-səlis məntiq, Z-ədəd və digər yollarla problem ifadəsinin müxtəlif yanaşmalarla materialın sintezinə tətbiqi;
- Material seçimi aparılmış müxtəlif tərkibli molibden və qalayla legirlənmiş titan əsaslı ərintilərin sintezi, təzyiqlə emal metodları və rentgen difraksiyasının təyini üsulları ilə tədqiqi;
- Optimallaşdırılmış qruplara daxil edilmiş ərinti nümunələrində deformasiya gərginliyinin müxtəlif sahələrində alınan əyriyə üzrə mexaniki xassələri və difraksiya faza analizi göstəricilərinin müəyyənləşdirilməsi.

Tədqiqat metodları. Tədqiqat işi materialşünaslığın elmi əsasları bazasında səth strukturunun öyrənilməsi üçün enerji dispersiv Rengenfaza detektoru ilə təchiz olunmuş skanedici elektron mikroskopu (SEM), tərkib elementləri haqqında məlumat əldə etmək üçün Rengenfaza analizi (XRD) tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir.

. Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

– Qeyri-səlis nəzəriyyə və proqram hesablaması əsasında Ti- (10-14%) Mo-(1-8%) Sn (kt. %) ərintilərinin tərkibində elementlərin manipulyasiyası və kompleks şəkildə tətbiq olunmuş termomexaniki emal metodları ilə yüksək plastikliyin təmin edilməsi;

– Z nömrə ilə qiymətləndirilmiş məlumatların məcmusuna və Z-ədədlərin sıralanmasına əsaslanan material seçimi probleminin həlli üçün yeni metodların müəyyən edilməsi;

– Ərinti tərkiblərinin seçilməsi prosesində mümkün təcrübi və mühakimə məlumatlarının etibarlılığının nəzərə alınmasında yeni yanaşmanın işlənməsi;

– Tələb olunan xassələrə malik materialların sintezinə dair müxtəlif yanaşma metodlarının müəyyən edilməsi və onların analizinin aparılması;

– Ti-Mo-Sn əsaslı ərintinin sintezi, təzyiqlə soyuq və termiki emalı metodlarının tətbiqi ilə yüksək plastik deformasiyanı qorumaq şərtilə nisbi axıcılıq və möhkəmlik həddinin artırılması;

– Ti-12Mo-(1-8)Sn qrupuna mənsub olan ərintilərin mexaniki xassələrinin və deformasiya zamanı struktur dəyişikliklərinin tədqiqi;

– Deformasiya gərginliyinin müxtəlif sahələrində ərintilərin deformasiya gərginliyi ayrıləri üzrə mexaniki xassələrinin öyrənilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi :

– İlk dəfə olaraq qeyri-səlis nəzəriyyə əsasında titan-molibden-qalay üçlü sistemi ərintiləri üçün material seçimi probleminə qeyri-müəyyənliyin, mürəkkəbliyin əsas həll yolları müəyyən edilmiş və müxtəlif ərintilərin sintezində mexaniki xassələrinin deformasiya dərəcələrində struktur dəyişməsi mexanizmi tam aşkarlanmış və şərh edilmişdir.

– Təqdim olunan işdə ilk dəfə olaraq Ti-(10,12,14)Mo-(1,2,3,4,5,6,8)Sn ərintiləri hazırlanmış, mexaniki xassələri öyrənilmiş və struktur təhlilləri aparılmışdır.

– Müəyyən edilmişdir ki, mövcud material seçimi ilə bağlı işlərdə müvafiq məlumatların qismən etibarlılığı nəzərə alınmır. İlk dəfə Z ədədlər yanaşması ilə material seçimi problemi nəzərdən keçirilmişdir. Z-ədədlərin sıralanmasına

əsaslanan bu problemin həlli üçün yeni bir yanaşma təklif olunur.

- Ti-Mo-Sn üçlü ərintilər sisteminin təcrübi nəticələri əsasında alınmış məlumatlardan və qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinin bazasına söykənən yeni linqvistik material sintezi modeli təklif olunmuşdur.
- Eksperimental tədqiqatların nəticələrinə əsasən kompleks termomexaniki emal və legirləmə təsirlərinə məruz qalan Ti-Mo-Sn üçlü qrup ərintilərinin əsas mexaniki parametrlərinin otaq temperaturunda gərginliyinin (σ) nisbi uzanmadan (ε) asılılığı, deformasiya gərginliyinin sürəti; rentgen diffraksiya nümunələrinə əsasən mikrostrukturun deformasiya dərəcəindən asılılığının xarakterik qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti :

Azərbaycan Texniki Universitetində və Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində bakalavriat və magistratura pillələrində mühazirə, məşğələ, kurs layihəsinin eləcə də buraxılış işlərinin və magistr dissertasiyalarının yerinə yetirilməsində istifadə olunur.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin əsas nəticələri respublika və beynəlxalq səviyyəli konfranslarda, simpoziumlarda müzakirə edilmişdir, o cümlədən "Yüksək texnologiyalar və ali təhsil" Beynəlxalq elmi texniki konfransı, Bakı, 21 – 24 noyabr, 2011; "Инновационные технологии и экономика в машиностроении", Международной научно - практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых., Томск, Россия 24 -25 Май, 2012; Ümummillî lider Heydər Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş "Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri" I Beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, Azərbaycan 29 – 30 aprel, 2013; Sənaye ilinə həsr olunmuş Elmi – texniki konfrans AZTU, Bakı, Azərbaycan, 15 dekabr, 2014; "Materiallar fizikasının müasir problemləri", "Thermophysical and mechanical properties of advanced materials" and 4th Rostocker international symposium, Baku, Azerbaijan, 24 noyabr 2015; V Beynəlxalq Elmi – Praktiki konfransın materialları, AzMİU, Bakı, Azərbaycan, 10-11 iyun 2016, "Müasir təbiət elmlərinin aktual problemləri", "International

conference on application of fuzzy systems and soft computing”, Procedia Computer Science, 29-30 august, 2016; Beynəlxalq Elmi Konfrans, Gəncə, Azərbaycan, 4 – 5 May, 2017; “International conference on application of fuzzy systems and soft computing”, 27-28 august, 2018; “Функціональні матеріали для інноваційної енергетики”, Київ, Україна. 13 – 15 травня, 2019

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Fransa Respublikasının Sorbonne Universitetinin əvvəlki adı Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris (Paris Milli Ali Kimya Məktəbi) indiki adı Chimie ParisTech–PSL-in nəzdində olan “Structural Metallurgy” (“Metallurgiyanın Strukturu”) laboratoriyasında, Azərbaycan Texniki Universitetinin “Metallurgiya və materialşünaslıq” indiki “Metallurgiya və materiallar texnologiyası” kafedrasında və Azərbaycan Dövlət Sənaye Universitetinin “Materialşünaslıq və emal texnologiyası” kafedrasında tematik plana uyğun olaraq yerinə yetirilmişdir.

Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhvəsi. İddiaçı tərəfindən tədqiqatın aktuallığı, əsas məqsədi və qarşıya qoyulan problemin həllinə nail olmaq üçün qoyulan məsələlər göstərilmiş tədqiqatın istiqamətləri müəyyən olunmuş, onların icrası yerinə yetirilmiş, nəzəri tədqiqatlar qeyri – səliss modellərin qurulması müstəqil olaraq həll edilmiş, nəticələrin emalı, sistemləşdirilməsi və müzakirəsi keçirilmişdir. Material seçimi və sintezində qeyri-səliss məntiq və çoxmeyarlı qərar qəbuletmə metodlarından və əlaqəli üsullardan istifadə edilmiş və yeni axtarış metodları tədqiq edilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işin girişdən, 5 fəsildən ümumi nəticələrdən və 174 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş 149 səhifədən, 19 cədvəl, 26 şəkil və 3 sxem daxil olmaqla, cədvəlsiz, şəkilsiz və ədəbiyyat siyahısız 171078 işarədən ibarətdir.

Nəşr olunma dərəcəsi. Dissertasiya işi üzrə 14 elmi nəşrdən 5 məqalə və 9 konfrans məruzələrinin tezisləri və iki həmmüəllifsiz məqalə Ali Atestasiya komissiyasının tövsiyyə etdiyi Beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə (bazalarına) daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə, respublika və beynəlxalq miqyaslı elmi

tədbirlərin nəticələri üzrə dərc olunmuş əsərdən 8 iş respublikada, 6 iş isə xaricdə nəşr edilmişdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın əsas müddələri verilmiş, dissertasiyanın mövzusu üzrə aparılmış tədqiqatların aktuallığı əsaslandırılmış, işin elmi yenilikləri, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar; işin praktik əhəmiyyəti və nəticələrin tətbiqi şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə titan və ərintilərinin ümumi xarakteristikası, onların müasir sənayedə tətbiq xüsusiyyətləri araşdırılmış, əsas perspektiv istiqamətlərin təhlili verilmişdir. Aparılan nəzəri təhlillər nəticəsində titan ərintilərinin ümumi xarakteristikası, tətbiqi və legirleyici elementlərin təsir xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Eyni zamanda Sn və Mo komponentlərin titan ərintilərinə təsiri öyrənilməklə möhkəmlilik xassələrinin artırılması haqqında yeni elmi yolların açılmasına zəmin yaradır. Əsas elmi məsələ və məqsəd kimi iki metoddan ənənəvi tədqiqat alətlərindən və kompyüter simulyasiya alətlərindən istifadə edərək yeni üçlü Ti-(10-14%)Mo-(1-8%)Sn (küt. %) ərintilərinin tərkibində elementlərin manipulyasiyası və kompleks şəkildə tətbiq olunmuş termomexaniki emallarla yüksək plastikliyi qorumaqla möhkəmlilik xassələrinin praktiki olaraq artırılması istiqamətləri təyin edilmişdir.

İkinci fəsil qeyri-səlis nəzəriyyəyə əsaslanan yeni material seçimi problemlərindəki qeyri-müəyyənliyi və mürəkkəbliyin həll edilməsi üstünlüklərinin tədqiq edilməsinə həsr edilmişdir. Ərintinin seçilməsi işlərində mümkün eksperimental və mühakimə məlumatlarının etibarlılığı nəzərə alınmaqla yeni yanaşmalar irəli sürülmüşdür.

Ərintinin seçilməsi işlərində mümkün eksperimental və mühakimə məlumatlarının etibarlılığının nəzərə alınmasında yeni yanaşmalar. Ərintinin seçilməsi problemləri ilə bağlı mövcud işlərdə mümkün eksperimental və mühakimə məlumatlarının etibarlılığı nəzərə alınmır. Bu araşdırmada, Z dəyərli mühitdə ərintilərin seçilməsinə bir yanaşma təklif edilmişdir. Belə yanaşmada hazırlıqlar dörd tərif əsasında öz həllini tapmışdır və yeni material

seçimində problemlərin həlli metodlarına da tam aydınlıq gətirilmişdir.

Tərif 1. Diskret Z-ədəd (Aliyev, 2015) Diskret bir Z nömrəsi A və B diskret qeyri-səlis ədədlərin sifariş edilmiş $Z = (A, B)$ cütüdür. A təsadüfi bir dəyişən X-nin götürə biləcəyi dəyərlər üzərində bir qeyri-səlis məhdudiyət rolunu oynayır. Üzvlük funksiyası μ_B olan diskret qeyri-səlis bir nömrədir: $\{b_1, \dots, b_n\} \rightarrow [0,1]$, $\{b_1, \dots, b_n\} \subset [0,1]$, qeyri-səlis məhdudiyət rolunu oynayır. ehtimal ölçüsü $A, P(A)$.

Tərif 2. Z-ədədlərin ölçülmüş arifmetik ortalama qiymətinin diskret Z-ədədləri (Aliyev, 2015). Bir Z dəyərli vektor $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ verilsin. Z- ədədlə ölçülmüş arifmetik orta (Z- number valued weighted arithmetic mean (ZWAM)) operatoru $M()$ istənilən vektora Z-a Z_M -in özünəməxsus bir Z nömrəsini $Z_M = M(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = (A_M, B_M)$ verir:

$$M = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i$$

Tərif 3. Z-ədədlərin qeyri-səlis Pareto optimallıq prinsipinə əsaslanan müqayisəsi (Aliyev, 2015). Qeyri-səlis Pareto Optimallıq (Fuzzy Pareto Optimality (FPO)) (Aliyev, 2015) prinsipi, çoxhəcmli alternativlərin Pareto Optimallıq dərəcələrini təyin etməyə imkan verir. Bu prinsipi Z nömrələrini çoxqütblü alternativlər kimi müqayisə etmək üçün tətbiq edirik - bir atribut dəyişənin dəyərini, digəri isə əlaqəli etibarlılığı ölçür. Bu yanaşmaya əsasən Z-ədədləri $Z_1 = (A_1, B_1)$ və $Z_2 = (A_2, B_2)$ müqayisə edərək Z-ədədlərin optimallığının ümumi dərəcələrinə çatır: $do(Z_1)$ və $do(Z_2)$. Bu dərəcələr bir Z-nömrənin digərinə üstünlük verdiyi bir sıra komponentlər əsasında müəyyən edilir (minimum 0, maksimum 2). $do(Z_1) > do(Z_2)$ olduqda Z_1, Z_2 -dən yüksək hesab olunur.

Tərif 4. Z-ədədlərin pessimizm-nikbinlik dərəcəsinə əsaslanan müqayisəsi (Aliyev, 2015). Z-ədədlərin FPO əsaslı müqayisəsini yaxşılaşdırmaq üçün, bədbinlik dərəcəsinə nəzərə almağı təklif edirik. $\beta \in [0,1]$ üstünlük verilən Z-nömrə seçiminə təsir edən amil kimi qəbul edilir. Pessimizm dərəcəsi, yuxarıda göstərilən FPO yanaşmasının əldə etdiyi nəticələrə tamamilə etibar etməyən bir insan müşahidəçi tərəfindən təqdim olunur.

Nəzərdə tutulan problemi həll etmək üçün Z -ədədləri ilə hesablanmasına və Z -ədədlərin insan yönümlü sıralanmasına əsaslanan bir yanaşma təklif edirik. Bu yanaşmanın tətbiqi algoritmi aşağıdakı kimidir.

Addım 1. Z nömrəli qiymətləndirilmiş meyarlar qiymətləndirmə məlumatlarının miqyası və miqyaslı Z sayı qiymətləndirilmiş qərar matrisinin yaradılması.

Addım 2. Anlayış 2-ə uyğun olaraq Z nömrəli ölçülmüş arifmetik orta qiymətindən istifadə edərək hər bir ərinti üçün məcmu Z -nömrə ilə qiymətləndirilmiş meyarların qiymətləndirilməsinin hesablanması.

Addım 3. Definition 3-ə əsasən FPO-prinsipi ilə əvvəlki mərhələdə hesablanmış Z nömrələrin optimallıq dərəcələrinin müəyyənləşdirilməsi

Addım 4. Definition 4-ə uyğun olaraq nikbinlik və pessimizmin nikbinlik dərəcələrindən istifadə edərək 2-ci pillədə hesablanmış Z nömrələrin son sıralanması.

Bir sıra ərintilərə (alternativlərə) müəlliflər tərəfindən yaradılan üç ərinti daxildir, lakin bununla məhdudlaşmır: Ti12Mo2Sn ərintisi (f_1), Ti12Mo4Sn ərintisi (f_2), Ti12Mo6Sn ərintisi (f_3) ərintilərin optimallığı aşağıdakı xüsusiyyətlər baxımından nəzərdən keçirilir: Güc səviyyəsi, plastik deformasiya dərəcəsi, uzanma gücü. Hesab olunan ərintilərin xüsusiyyətləri barədə eksperimental və mühakimə məlumatlarının qismən etibarlılığı və dəqiq olmaması səbəbindən Z nömrələrinə əsaslanan rəsmiləşdirmə tətbiqi olunur (Cədvəl 1).

Cədvəl 1

Ərintilərin xüsusiyyətləri haqqında Z nömrəli qiymətləndirilmiş məlumat

	Axıcılıq həddi, MPa	Nisbi uzanma,MPa	Gərginlik, MPa
Ti10Mo2Sn	((490,510,530), (0.94,0.95,0.96))	((30.35,40), (0.94,0.95,0.96))	((850.910.970), (0.94, 0.95, 0.96))
Ti12Mo4Sn	((550,595,640), (0.9,0.935,0.97))	((25,27.5,30), (0.9,0.935,0.97))	((815,865,915), (0.9,0.935,0.97))
Ti12Mo6Sn	((705,718,730), (0.91,0.935,0.96))	((16,20,25), (0.91,0.935,0.96))	((896,976,1056), (0.91,0.935,0.96))

Mövcud material seçimi ilə bağlı mövcud işlərdə müvafiq məlumatların qismən etibarlılığı nəzərə alınmır. Bu yazıda ilk dəfə Z-mühtdə material seçimi problemi nəzərdən keçirilir. Z nömrəli qiymətləndirilmiş məlumatların məcmusuna və Z-ədədlərin sıralanmasına əsaslanan bu problemin həlli üçün yeni bir yanaşma təklif olunur. Üç meyar əsasında optimal titan ərintisinin seçilməsinə təklif olunan yanaşma tətbiqi yanaşmanın etibarlılığını və tətbiq olunmasını göstərir.

Üçüncü fəsildə optimal xüsusiyyətlərə malik materialların sintezinə dair müxtəlif yanaşmalar tədqiq edilmiş, Z sayı nəzəriyyəsi, qeyri-səlis hesablama və ehtimal hesablamalarını emal etmə üstünlüyünə görə qeyri-səlis və qismən etibarlı məlumatı hesablamaq üçün daha geniş informasiyanın əldə edilməsinə təminat verir. Eksperimental şəraitin dəyişkənliyi, materialların mürəkkəb tərkibi və quruluşu, qeyri-kamil mütəxəssis bilikləri material davranışları barədə məlumatların etibarlılığının məhdud sayılmasını tələb edir.

Qeyri-səlis ədəd ilə material dizaynı üçün ilkin anlayışlar məcmusu.

Tərif 1. Tip-1 Davam edən qeyri səlis ədəd (Aliyev, 2001). Qeyri-səlis ədəd aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olan R a daxil olan A-ın qeyri-səlis bir məcmusudur:

- a) A normal qeyri səlis toplusudur;
- b) A qabarıq qeyri-səlis toplusudur;
- c) A, A^α kəsikləri hər $\alpha[0,1]$ üçün qapalı bir aralıqdır;
- d) A dəstəyi, dəstək (A) bağlıdır.

Tərif 2. Böyük data. Böyük data, nəticələrin proqnozlaşdırılmasını həyata keçirmək üçün aşağı məlumat spesifikliyi olan geniş məlumat dəstlərindən qanunlar, biliklər gətirmək imkanı verir.

Tərif 3. Qeyri-səlis C-çoxluq deməkdir. Qeyri-səlis C-mənasını vermək problemi hesablanmış məlumatların $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ -nin qeyri-səlis çoxluqlara bölünməsindən ibarətdir ki, aşağıdakı meyar minimuma endirilsin:

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m x_i - v_j^2 \rightarrow \min$$

Bu o halda baş verir ki,

$$0 < \sum_{i=1}^n u_{ij} < n \quad (j = \overline{1, c}) \quad \& \quad \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 \quad (i = \overline{1, n})$$

burada II Evklid məsafəsi, c - əvvəlcədən verilən çoxluqların sayı, m - əldə edilmiş klasterlərin üzv funksiyalarının ayrılığını təyin edən, tapılacağı klasterlərin mərkəzlərinin koordinatları olan füzföürün dəyəri.

Tərif 4. Qeyri-səlis təsir sistemi (FIS). Qeyri-səlis giriş sistemi qeyri-səlis girişləri qeyri-səlis IF-THEN (ƏGƏR – ONDA) qaydalarından istifadə etməklə qeyri-səlis girişlərə xəritələndirən bir sistemdir:

ƏGƏR y_1 is A_{11} və y_2 is A_{12} və ..., və y_n is A_{1n}

ONDA z_1 is B_{11} və z_2 is B_{12} və ..., və z_m is B_{1m}

.

.

.

ƏGƏR y_1 is A_{K1} və y_2 is A_{K2} və ..., və y_n is A_{Kn}

ONDA z_1 is B_{K1} və z_2 is B_{K2} və ..., və z_m is B_{Km}

Burada, $A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn}$; $B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{km}$; $k = 1, \dots, K$ qeyri-səlis cəmidir

Girişlərin cari dəyərlərini nəzərə alaraq y_1, \dots, y_n FIS nəticələrin z_1, \dots, z_n uyğun dəyərlərini hesablayır.

Tərif 5. Elə qəbul edək ki, n ölçülü qeyri-səlis vektorlar arasındakı məsafə [148]. $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ və $b = (B_1, B_2, \dots, B_m)$ iki m ölçülü qeyri-səlis vektorlar olsun, $\in \{0 \leq a_j < a_{j+1} < \dots < a_n \leq 1\}$ $[0, 1]$ nın bölünməsi olsun, \emptyset in altında olan a və b arasındakı məsafə aşağıdakı kimi müəyyən edilir.

$$D(a, b) = \frac{1}{l+1} \sum_{j=1}^m \sum_{k=0}^l \left(\left| A_{j1}^{\alpha_k} - B_{j1}^{\alpha_k} \right| + \left| A_{j2}^{\alpha_k} - B_{j2}^{\alpha_k} \right| \right)$$

Burada, $A_{j1}^{\alpha_k}, A_{j2}^{\alpha_k} A_j^{\alpha_k} = \left[A_{j1}^{\alpha_k}, A_{j2}^{\alpha_k} \right]$ qeyri – səlis ədədinin α_k -kəsiminin son nöqtələrini ifadə edir $B_j^{\alpha_k} (B_{j1}^{\alpha_k}, B_{j2}^{\alpha_k})$ analoji təyinatları vardır).

Tərif 6. Qeyri-səlis ədədlərin cakart indeksinə bənzərliyi (Ali Jahan, 2011)

A1, A2 qeyri-səlis ədədlərin J (A1, A2) oxşarlığı aşağıdakı kimi müəyyən edilmişdir.

$$J(A_1, A_2) = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_{A_1}(x_i) \cdot \mu_{A_2}(x_i)}{\sum_{i=1}^M (\mu_{A_1}(x_i)) + \sum_{i=1}^M (\mu_{A_2}(x_i)) - \sum_{i=1}^M \mu_{A_1}(x_i) \cdot \mu_{A_2}(x_i)}$$

Problemin təsviri və həll yanaşması. İlkən anlayışlar 6 təriflə ifadə olunmuşdur. Burada qeyri –səlis ədəd xüsusiyyətləri; big data kimi nəticələrin proqnozlaşdırılmasını həyata keçirmək; problem hesab olunan məlumatların çoxluqlara bölünməsi; ƏGƏR- ONDA qaydalarından istifadə etməklə girişləri xəritələndirən bir sistemin tətbiqi; n ölçülü qeyri səlis vektorlar arasında məsafə; qeyri-səlis ədədlərin cakart indeksinə bənzərliyi aşkar olunmuşdur. Əgər qəbul etsək ki, intensiv təcrübələrdən və müxtəlif mənbələrdən götürülmüş ağıllı materialların sintezi barədə böyük datalar mövcuddur onda bu datalar ərintinin tərkibi ilə xüsusiyyətləri arasındakı əlaqəni ehtiva edir. Bu cür məlumat bazalarının ən primitiv forması Cədvəl 2-də nümunə kimi tərtib edilmişdir:

Cədvəl 2

Ərintilər üçün təcrübələrdən əldə edilən « Big data » nümunəsi

Eksperimental tərkibi (faizlə)	Ərinti		Ərinti xarakteristikası				
	Hal	Hal	Hal	Hal	Hal	Hal	
#	Metal 1, y ₁	Metal n, ... y _n	Hal T	... Hal l	Xar.1, z ₁	Xar. ... z _m	m,
1	y ₁₁	... y _{1n}	T ₁₁	... T _{1l}	z ₁₁	... z _{1m}	
.			.				
.			.				
.			.				
s	y _{s1}	... y _{sn}	T _{s1}	... T _{sl}	z _{s1}	... z _{sm}	

Biliklərə əsaslanan modeli düşünülmüş məlumatlardan çıxarmaq və əvvəlcədən təyin edilmiş ərintinin xassələrini təmin edən bir ərinti tərkibini tapmaq mövcud bir problemdir. Problem aşağıdakı kimi həll olunur.

İlk mərhələdə, qeyri-səlis çoxluqlar C_1, C_2, \dots, C_K əldə etmək üçün FCM istifadə edərək böyük məlumatların qeyri-səlis qruplaşdırılması həyata keçirilir. İkincisi, qeyri-səlis ƏGƏR-ONDA qaydaları şəklində biliklərə əsaslanan model, alınan qeyri-səlis çoxluqlardan qurulmuşdur C_1, C_2, \dots, C_K

ƏGƏR y_1 Ak 1 və, ..., və y_n isə Akn BU Z1 Bk1 və, ..., və z_m Bkm, k_1, \dots, K olur

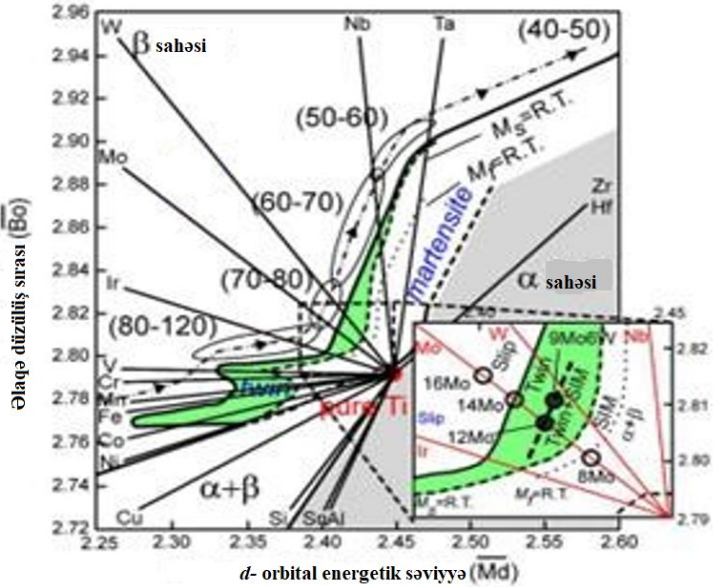
Üçüncüsü, qeyri-səlis əsaslandırma əvvəlcədən təyin edilmiş ərinti xüsusiyyətlərinin z_1, \dots, z_m dəyərlərini hesablamaq üçün qurulmuş qeyri-səlis ƏGƏR - ONDA qaydaları çərçivəsində aparılır.

Xətti interpolasiya əsaslı qeyri-səlis əsaslandırma və qeyri-səlis vektorlar arasındakı məsafədən istifadə etməklə əvvəlcədən təyin edilmiş xüsusiyyətlərə malik bir ərintili kompozisiya axtarmağı təklif edirik.

Dördüncü fəsildə Ti-Mo-Sn əsaslı ərintinin sintezi, təzyiqlə soyuq və istilik emalı metodlarının tətbiqi ilə sınaq nümunələrinin hazırlanması həyata keçirilmişdir.

Ərintinin sintezi və təzyiqlə soyuq emal metodları. Ərintidə komponent seçimi ikili Ti-Mo sisteminə tətbiq olunan “d-elektron dizayn metodu” konsepsiyasına əsaslanır ki, bu da əyani olaraq müxtəlif deformasiya mexanizmləri olan sahələr şəklində illustrasiya olunur (şək. 1). Bizim qənaətimizə görə xəlitəli ərintilərin konsentrasiyasını seçmək üçün zəruri şərt Bo/Md qiymətlərinin diaqram bölgəsinə yüksək plastikliklə uyğun gəlməsidir və Bo/Md hesablanmış parametrləri (Ti-14Mo-8Sn) ərintisində 2.396-dan (Ti-14Mo) ərintisində 2.81 qədər, və (Ti-10Mo) ərintisində 2.42-dan (Ti-12Mo-8Sn) ərintisində 2.789 qədər dəyişmiş olur. Təqdim olunan dissertasiya işinin yaxşı cəhəti ondan ibarətdir ki, tərkibində müxtəlif kimyəvi elementlər olan bütün Ti-Mo-Sn üçlü ərintiləri üçün sabit

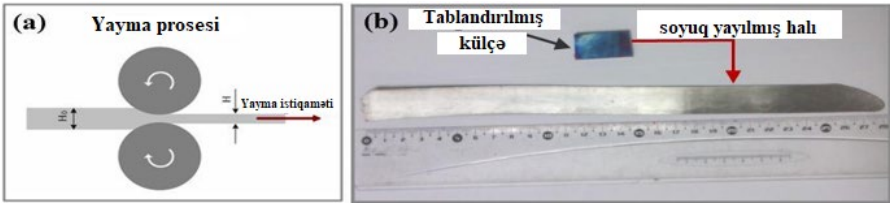
β strukturu aşağı temperaturlara qədər saxlanılır və onun digər strukturlara çevrilməsi yalnız mexaniki gərginliklər sahəsində mümkündür.



Şəkil 1. d-elektron faza stabillik xəritəsi

Ti-Mo-Sn üçlü ərintilərinin istehsalı zamanı iki fərqli metoddan istifadə edilmişdir. Birincisi, ilkin materiallar olaraq təmiz metallar götürülür, çəkilir və əridilir. Ti-12Mo-nu əsas ərinti olaraq seçdiyimiz ikinci üsul, sonra hər birləşmə üçün lazımı miqdarda təmiz titan, molibden və ya qalay hesablanır və ərinti təmiz elementlərlə əridilir. Ti-12Mo materialının kəsikləri və yüksək təmizlikli titan, molibden və ya qalay kəsikləri hazırlanmış tərkibə uyğun olaraq tamamilə qarışdırılır. Xəmir materialların qarışıqları əvvəlcə sobanın vakuum sahəsində bir neçə dəfə təkrarlanmaqla havadan və oksigendən azad olunur, daha sonra isə hər hansı təsirsiz qazla doldurulur. Bizim təcrübədə bu arqon qazıdır. Beləliklə material arqon mühitində qövs əmələ gətirən volfram elektrod vasitəsi ilə əridilir. Buna görə də, qövs ərimə sobasının soyutma sistemi ərintilərdən hazırlanan külçələr ən azı beş dəfə tərs üzünə

çevrilərək əridilir. Ərimə zamanı su ilə soyudulmuş boşqabşəkilli mis baza ilə təmasda olan külçənin alt tərəfi yaxşı ərimir. Buna görə, hər dəfə ərimədən əvvəl külçə tərs üzünə çevrilir, oksigendən və havadan təcrid olunaraq əridilir. Əriyəndən sonra külçələr laboratoriyamızın özü tərəfindən hazırlanan cihazdan istifadə edilərək 10^{-6} Pa yüksək vakuum altında 2 saat ərzində $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -də homogenləşdirilir. Yayma prosesindən əvvəl külçənin qalınlığı $5 \sim 20$ mm ola bilər, yüksək sünilik ucbatından son qalınlıq 99% -ə endirilə bilər. Şəkil 2-də yayılmış səthin hamar kənarı bu ərintinin çox yaxşı soyuq işləmə qabiliyyətinə malik olduğunu nümayiş etdirir.



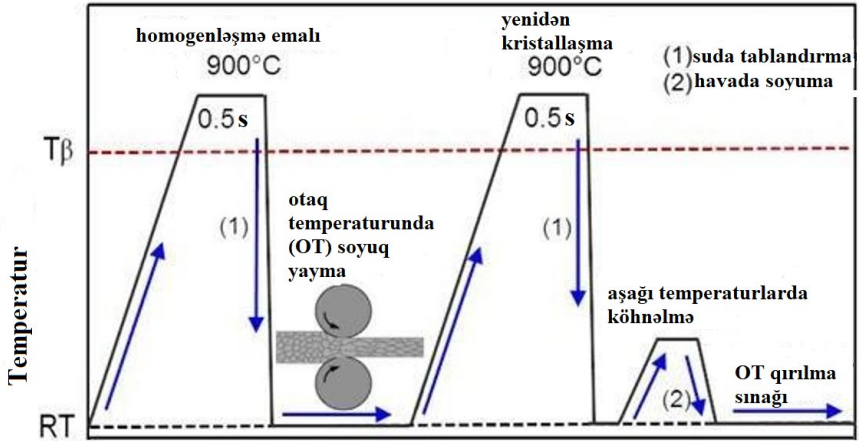
Şəkil 2. Soyuq yayma prosesinin sxematik görünüşü (a); yuvarlandıqdan sonra alınmış məhsul (nazik lövhə) və (b) tablandırılmış külçə

Mexaniki sınaq, termiki emal vasitələri və metodları. Sintez edilmiş kompozitlər üçün gərginliyin keçirilməsini qiymətləndirmək, sabit temperaturda, 10^{-3}san^{-1} sürətini tətbiq etməklə INSTRON 5966 maşınından istifadə edilərək mono eksenel uzanma testləri və tsiklik vuruşlar edilir. Nümunələrin deformasiyasını dəqiq ölçmək üçün ekstensometrədən istifadə edilmişdir. Gərginlik testlərinin hər biri yayma istiqaməti boyunca aparılır.

Gərginlik testində yaymadan sonra alınan nümunələrin aşağı plastiklik və yüksək gərginliyə müqavimat nümayiş etdirdiyi qeyd edilməlidir. Bu cür davranışın əsas səbəbi kimi β emal mikroquruluşu, soyuq yayma qurğusunda soyuq deformasiyadan sonra tamamilə məhv edilmişdir. Bu soba ərintilərdəki β -metastabil quruluşu bərpa etmək üçün istifadə olunur. Titan əsaslı ərintilər üçün struktur homogenləşməsi adətən ərintilər vakuumda və ya neytral qaz mühitində yarım saat ərzində faza keçid temperaturundan yüksək temperaturda saxladıqdan dərhal sonra tablandırmadan baş verir. Bu

üsulla alınan nümunələrə Solution Treatment (yekun emal) ST nümunələrini adlandırdıq.

Bu soba ilə nümunələrin mexaniki xassələrini artırmaq üçün bir neçə termo mexaniki emal metodu tətbiq olunur, məsələn, köhnəlmə, tabəskiltmə və s. etmək mümkündür. Bir neçə il əvvəl O. İvasişiñ və başqalarının tədqiqat işlərinin nəticələri sınaqdan keçirmək üçün termo-mexaniki strategiyalarını bildirdilər. Şəkil 3-də aşağı temperaturda köhnəlmənin ATK(ingiliscə LTA) sxemi təsvir olunur.



Şəkil 3. LTA rekristallizasiyası üçün termo-mexaniki prosesin sxematik təsviri

Bu işdə alimlər ω və γ α - nı β -1 fazasının matrisinə daxil etməyi qərara almışlar. Təcrübələr göstərmişdir ki, onların bu qərarı nəticəsində β -metastabil titan ərintilərinin mexaniki xassələri yaxşılaşmışdı. Termo - mexaniki emala nümunə olaraq β tabəskiltməni, aşağı temperaturda köhnəlməni və iki pilləli öncə aşağı temperaturda sonra yüksək temperaturda köhnəlməni göstərə bilərik.

Mikroşliflərin hazırlanması, mikrostrukturun və rentgen difraksiyası təcrübələrinin təyini üsulları. Əvvəlcə SEM müşahidə üçün qətrəndən nümunə tutucusu hazırlamalı olduq. Bu məqsədlə keçirici fenol əsaslı qətran istifadə edilmişdir. Beuhler simplemet® 1000 cihazından istifadə edərək quraşdırılmış nümunə tutucusu.

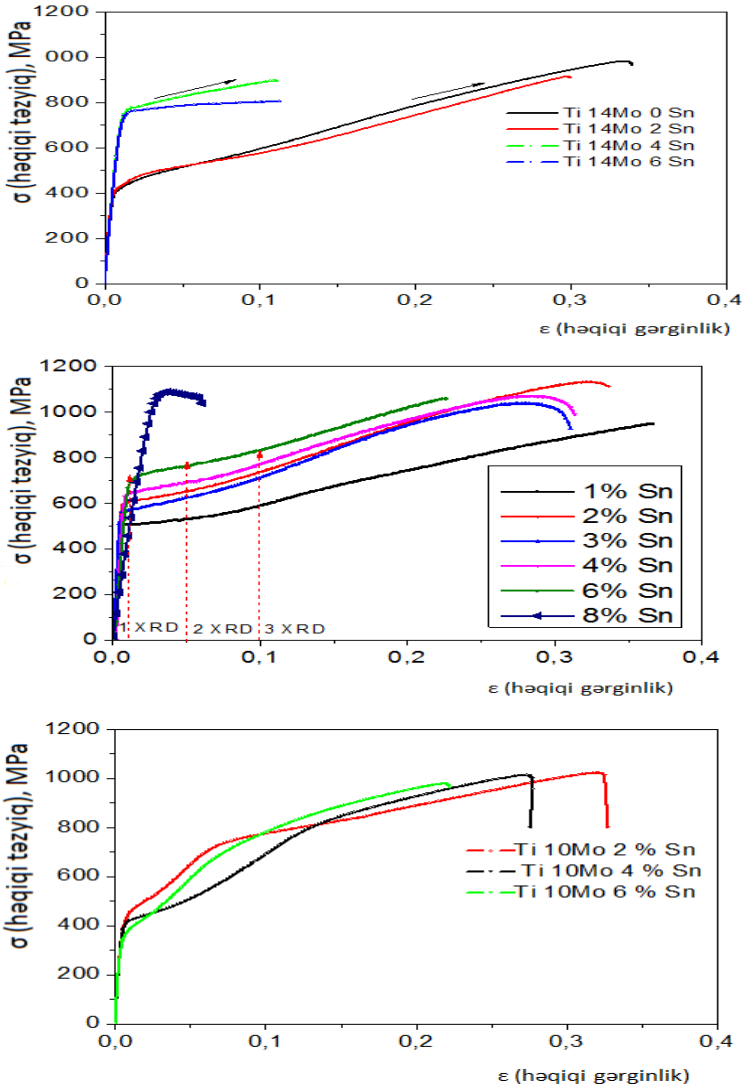
Nümunə bərkidildikdən sonra SiC kağızı ilə birlikdə hər iki materialın mexaniki cilalanması aparıldı. Cilalama proseduru 800, 1200, 2400 və 4000 nömrəli sumbata kağızları ilə ardıcılıqla həyata keçirilir. Sonra nümunə 1 mikron ölçüsündən 0,05 mikrona qədər olan kolloidal alüminium məhlulu ilə cilalanır. Sonda nümunə, etanol ilə doldurulmuş ultrasəs təmizləyici hamamdan istifadə edərək mexaniki olaraq təmizlənir. Daha sonra lazım olduqda isə kimyəvi tərkibi HF, HNO₃ və H₂O olan, 1: 3: 5 nisbətində qarışdıraraq alınan məhlulla nümunənin səthi təmizlənir.

Cilalama zamanı OLYMPUS PME optik mikroskopundan deformasiya teksturu, cilalama keyfiyyəti və ya dənə ölçüsünün müşahidəsi kimi müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilmişdir. Təqdim olunan tədqiqat işləri zamanı BRILLANT 210 nəm abraziv kəsmə maşınından kəsici vasitə kimi istifadə edilmişdir.

Tədqiqat üçün mikro şliflərin hazırlanması və analizi zamanı optik və elektron mikroskoplarda mikrostruktur o cümlədən səthlə deformasiya toxumaları, cilalama keyfiyyəti müşahidə edilib analiz edilmişdir. Eyni zamanda Panalitik X'Pert Pro difraktometrində rentgen difraksiya təcrübələri yerinə yetirilmişdir. Burada Pawley zərifliyinə aid kəsişmə parametrlərinin qiymətləndirilməsindən ibarətdir. Nəticədə xüsusi zirvələrin intensivliyinin qiymətləndirilməsi ilə XRD məlumatlar əldə edilmişdir.

Beşinci fəsildə Ti - 12Mo (1-8)Sn qrupuna mənsub olan ərintilərin mexaniki xassələri və deformasiya zamanı struktur dəyişiklikləri öyrənilmişdir.

Deformasiya gərginliyinin müxtəlif sahələrində ərintilərin deformasiya gərginlik ayrılırları üzrə mexaniki xassələri. Aparılan elmi tədqiqat sınaqları zamanı nümunələr elə yönəldilmişdi ki, burada gərginlik oxu, yuvarlanma oxu istiqaməti ilə üst-üstə düşsün. Ti-12Mo-(1-8)Sn ailə qrupuna daxil olan ərintilərin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin xüsusiyyətlərindəki dəyişikliklərin dinamikası şəkil 4 -də göstərilmişdir. Ərintilərin lokal vəziyyətini



Şəkil 4. Otaq temperaturunda ərintilərin möhkəmlük və nisbi deformasiyasından asılılıq (σ - ϵ) ayrılırları: a) Ti-14Mo-xSn); b) Ti-12Mo-xSn); c) Ti-10Mo-xSn

təfərrüatı ilə göstərmək üçün texniki gərginlik - deformasiya ayrılırları yenidən həqiqi – gərginlik həqiqi deformasiya koordinatlarında standart formullar üzrə qurulmuşdur. Otaq temperaturunda aparılan

sınaqdan əldə edilən σ - ε əyrilərindən (şəkil 4) göründüyü kimi, bərkimiş ərintilər sərtləşmə göstəricilərində, yəni axın gərginliyi σ_T və σ_B qırılmasının müvəqqəti möhkəmlənməsində qalayın titanla əvəz olunmasında qalayın tərkibinin ardıcılıqla 2,4,6 % artım meylini göstərir. Ərintilərin əsas mexaniki xassələri cədvəl 3-də göstərilmiş,

Cədvəl 3

Ti-(10-14)Mo-(1-8)Sn sistemi ərintilərinin əsas mexaniki parametrləri

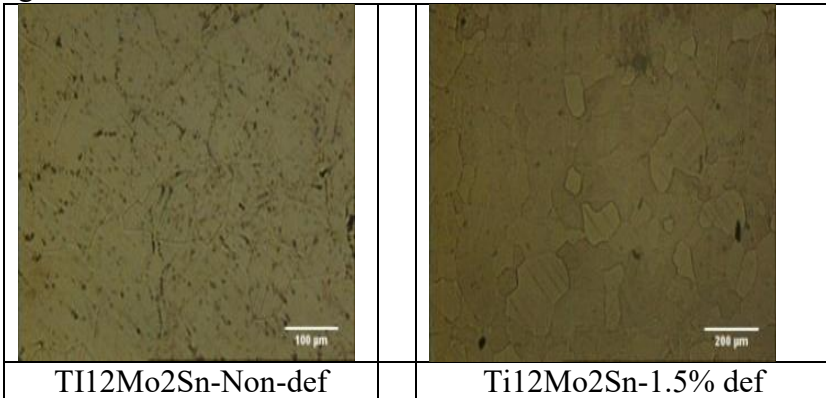
Parametrlər Ərintilər	Deformasiya-gərginlik əyrisi				Həqiqi deformasiya-gərginlik əyrisi		
	$\sigma_{0.2}$, MPa	$\sigma_{(max.)}$, MPa	E , GPa	$\varepsilon_{max.}$, %	$\sigma_{0.2}$, MPa	$\sigma_{max.}$, MPa	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8
Təmiz Ti	523	673	108	24			
Ti-6Al-4	999	1173	113	6			
Ti-7.5Mo	737	1019	70	16			
Ti-12 çəki % Mo sərtləşmə					400	980	40
Ti-12çəki,% Mo					580	980	38
Ti-10Mo-2Sn	420	732	98,5	32	420	1015	27
Ti-10Mo-4Sn	450	746	97,7	38,75	450	1020	32,75
Ti-10Mo-6Sn	390	787	104,6	25	390	980	22
Ti-12Mo-1Sn	515	659	84,2	44,25	515	950	36
Ti-12Mo-2Sn	600	777	99,6	50	600	1130	40
Ti-12Mo-3Sn	580	751	104,5	46,5	580	1040	38
Ti-12Mo-4Sn	650	772	105,7	46,5	650	1070	38
Ti-12Mo-6Sn	710	806	67,5	31,5	710	1060	27
Ti-12Mo-8Sn	1050	1069	83,6	3	1050	1090	3
Ti-14Mo	410	704	92,6	40,5	410	980	34
Ti-14Mo-2Sn	400	679	89,5	35	400	915	30
Ti-14Mo-4Sn	790	790	72	11,5	790	900	11,10
Ti-14Mo-6Sn	890	840	sabit	6,5			
Ti-15Mo	745	921	84	25			

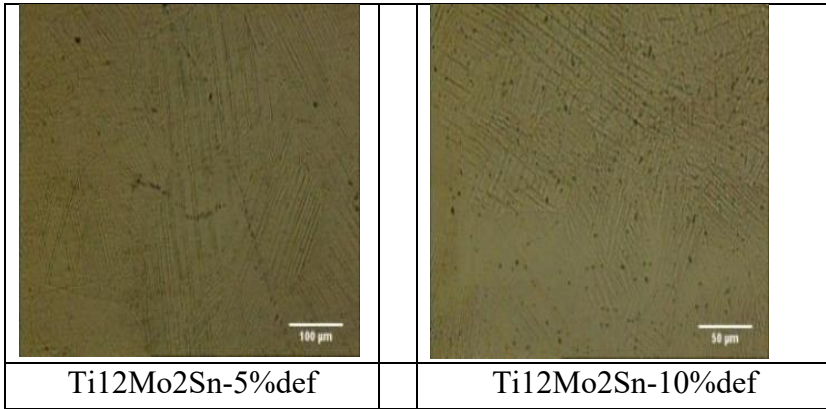
burada həmçinin oxşar analoqlu müqayisə məlumatları verilmişdir. Ərintilərin əhəmiyyətli dərəcədə dayanıqlığı elementlərin atom radiuslarının uyğunsuzluğu ilə əlaqəli olan qatı məhlulun bərkiməsi faktoru ilə əlaqədardır. Müvafiq olaraq qalay ilə əvəzetmə qəfəs parametrlərinin artmasına, molibdenlə isə bir qədər azalmasına səbəb olur. Maksimum möhkəmlik xassələri 6% qalay tərkibli ərintiyə uyğun gəlir, eyni zamanda Yunq modulu azalır və 2% Sn-ə görə 40% elastikliyi itirir. Ümumiyyətlə, Ti-12Mo-xSn ərintilərinin mexaniki xassələrinin ($x = 2, 4, 6$) 8% Sn konsentrasiyasına qədər eyni deformasiya quruluşuna malik olduğu müəyyən edilmişdir. Sonra deformasiya mexanizmi ikiləşmə dislokasiya sürüşməsinə qədər dəyişir.

Yüksək plastikliyə malik ərintilər üçün gərginlik-deformasiya ayrılardakı sahə ilə təyin olunan dağılma işi, 350 MPa/m^3 səviyyəsində olan göstəricilərə malikdir və yüksək dayanıqlı ərintidən üstündür (8% qalay).

Burada $\sigma_{0.2}$ -axıcılıq həddi, $\sigma_{(\text{max.})}$ - müvəqqəti müqavimət və ya möhkəmlik həddi, E -Yunq modulu, $\epsilon_{\text{max.}}$ -qırılmaya qədər maksimum deformasiyadır (plastiklik).

Şəkil 5 deformasiyanın gərginlik ilə dəyişməsi dinamikasını göstərir.





Şəkil 5. Müxtəlif deformasiya dərəcələrindən asılı olan Ti-12Mo-2Sn ərintilərinin mikrostrukturlarının SEM görüntüsü

Tərkibində 10% və 14% molibden olan ərintilərin mexaniki xassələrinin dəyişməsi. Bərkimə halında üçlü ərintilər aşağıdakı tendensiyanı göstərir. Ən yüksək təhlükəsizlik faktoruna 10% Mo tərkibli ərintilər malikdir, onların gərginliyi 50-ə çatdıqda, TWIN və TRIP təsirlərinin rəqabəti ilə şərtlənir ki, bu da müvafiq mikrostrukturun və XRD məlumatlarının mövcudluğu ilə təsdiqlənir. 10% Mo tərkibli ərintilər üçün Sn legirlənməsi axıcılıq həddinə nəzərə çarpaçaq dərəcədə təsir göstərmir, lakin σ_B -nin 2 qat artımına səbəb olur. Bu da ikili Ti-12Mo ərintisinə görə verilən göstəricilərdən bir qədər yüksəkdir. Ti-14Mo ərintilərində plastiklik 2 qat, möhkəmlənmə və plastikliyin 1/3 qədər itkisi ilə müşayiət olunan 2% Sn ilə legirlənmə zamanı düzəlir.

Qalay tərkibinin artımı ilə (12%Mo \rightarrow 8%Sn), (14%Mo \rightarrow 4%Sn) komponentlərində deformasiya mexanizmi dəyişir. Matrisin əhəmiyyətli dərəcədə möhkəmlənməsi ilə $\sigma_{0.2}$ -nin 2 qat artması nəticəsində ərintilər xarici mexaniki gərginliyə qarşı müqavimətini itirir ki, bu da plastikliyə səbəb olur. Beləliklə, legirləmə ilə elementin konsentrasiyasının sonrakı artımı yüksək plastikliyin qorunması baxımından praktiki əhəmiyyətə malik deyildir. Ti-10%Mo tərkibli ərintilər üçün $\delta\sigma/\delta\varepsilon$ əyrilərində bir sıra anomaliyalar müşahidə olunur. Beləliklə, 2-6% Sn-də, gərginlik deformasiyanın 2-

ci mərhələsində iki dəfə azalma ilə maksimum qiymət $\delta\sigma/\delta\varepsilon \approx 6000$ MPa-dır. Bu vəziyyətdə, legirləyəcək elementin konsentrasiyası artdıqca plastiklik azalır. Ti-12MoSn üçlü sistemində maksimum 4%Sn-dir, lakin 2000 MPa səviyyəsində $\delta\sigma/\delta\varepsilon$ qiyməti daha azdır.

Müxtəlif deformasiya dərəcələrində struktur dəyişiklikləri və rentgen difraksiya faza analizinin göstəriciləri. Deformasiya dərəcəsinin artması ilə cütlərin sıxlığı artır, belə ki, bəzi dənələrdə erkən mərhələlərdə bu yoxdur. Qeyd etmək lazımdır ki, Ti-10Mo sisteminin üçlü ərintiləri üçün mexaniki bir oxlu gərginliklər sahəsindəki strukturun dəyişməsi faza axını gərginliyində (TRIP effektini yaradan gərginlik) azalma tendensiyası qalay konsentrasiyasının artması ilə müşayiət olunur. Dənələr arasındakı deformasiya lehimli elementlərin istiqamətləndirilməsi və ayrılması səbəbindən qeyri-bərabərdir.

Möhkəmləndirilmiş titan-molibden ərintilərinin morfoloji xüsusiyyətlərinə martensit lövhələrinin 100-dən 5 μm Ti-8Mo-dək qısaldılmasını aid etmək olar. İlk Ti - Mo ərintilərinin qəfəs parametri həcmi mərkəzləşmiş kub (HMK) Mo tərkibinin artması ilə azalır. Beləki, Sn elementinin əlavə olunması əks təsir göstərir. Bu da öz növbəsində üçlü TiMoSn ərintilərini möhkəmləndirmək üçün lazımi şərait yaradır.

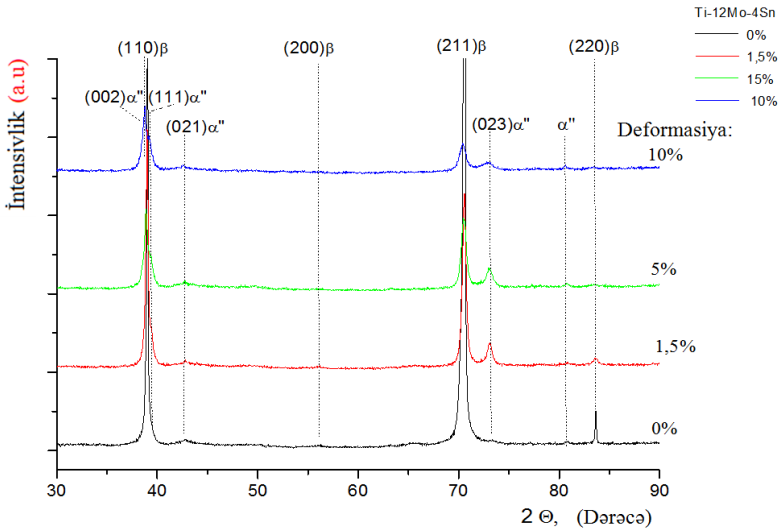
1.5%-ə uyğun deformasiya baş verdikdə mikrostrukturda ilkin ikiləşmə görünür və bu, 4% Sn ilə ərinti üçün daha xarakterikdir. Xarakterik ikiləşmə strukturuna görə, 5% -dən yuxarı deformasiya müxtəlif deformasiya istiqamətlərində çoxlu ikiləşmələrə gətirib çıxarır. Bu cür struktur çevrilmələr, tədqiq edilmiş ərintilərin əhəmiyyətli dərəcədə plastikliyi ilə müşayiət olunur ki, bu da XRD analizi ilə təsdiqlənir. XRD qeydləri nümunələrin 1.5%, 5% və 10% dərəcə deformasiyası zamanı aparılmışdır.

Bir oxlu dartılma gərginliyinin təsiri nəticəsində ərintilərin yüksək plastikliyi SIM martensitin induksiyasının nəticəsidir. Deformasiya zamanı strukturdakı dəyişikliklərin müəyyənləşdirilməsi, rentgen difraksiyası analizinin məlumatlarına görə (şəkil 6), ortorombik qəfəslə (deformasiya martensiti) martensit

α'' -fazanın əmələ gəlməsi qeyd edilmişdir. Üstəlik, deformasiya martensiti müəyyən kristalloqrafik istiqamətlərdə əmələ gəlir, buna da rentgenoqram xətlərində (021) və (023) müstəvilərini əks edən bir sistemə uyğun olan α'' - fazanın olmasının sübutudur.

Deformasiyaya uğramamış nümunələrin rentgenoqramında yalnız qəfəs dövrü $a=0.3267\text{nm}$ olan sabit ilkin fazalı struktur üçün xarakterik olan yüksək temperaturlu β -fazanın həcmi mərkəzləşmiş kub (HMK) qəfəslə xətləri görünür. 1,5%-lik deformasiya nəticəsində rentgen difraksiyası faza ilə yanaşı martensit α'' -faza xətləri görünür. Gərginlik zamanı deformasiya dərəcəsinin 10% -dək artması ilə başlanğıc β -faza xətlərinin intensivliyi azalır və martensit α'' -faza artır. Bu əmələ gələn deformasiya martensitinin miqdarının artdığını göstərir.

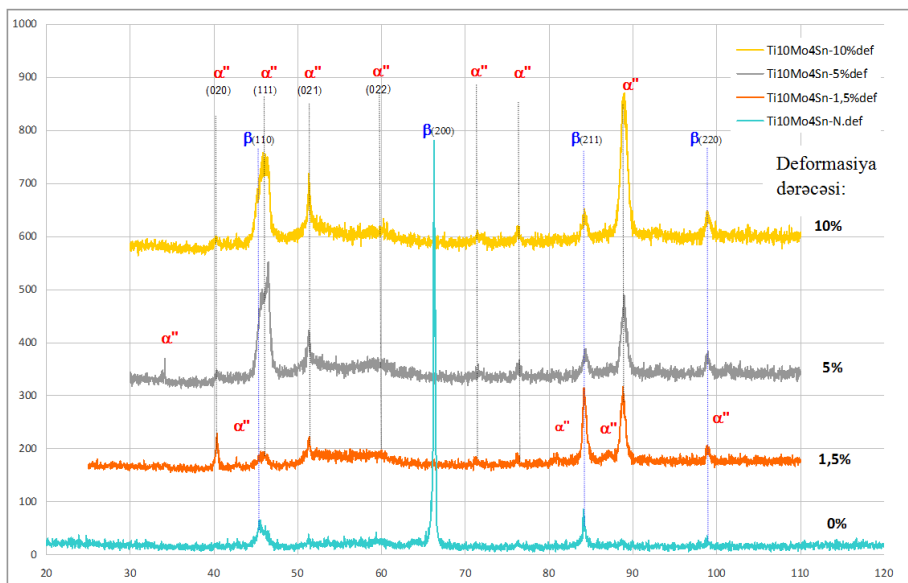
Bundan əlavə, gərginlik zamanı deformasiya dərəcəsinin artması ilə ilkin β -faza xətləri daha kiçik difraksiya bucaqlarına doğru irəliləyir ki, bu da β -fazanın qəfəs dövrünün artması və deformasiya zamanı dartılma makrostreslərinin artması ilə əlaqədardır. 10% deformasiyada, qəfəs dövrü $a=0.332\text{nm}$ -ə çatır (şəkil 6).



Şəkil 6. Müxtəlif deformasiya dərəcələrində Ti-12%Mo-4%Sn ərintisinin rentgen difraksiya nümunələri

Daha az Mo (= 10%) konsentrasiyası olan titan ərintilərinin deformasiyası zamanı mexaniki xassələrin xüsusiyyətləri müşahidə olunur, bu zaman rentgen difraksiyası faza analizinin göstəricilərinin göstərdiyi kimi TRİP effekti deformasiyanın əsas mexanizmi rolunu oynayır. Beləliklə, şəkil 7-nin göstəricilərinə görə başlanğıc vəziyyətdə (gərginlikdən sonra deformasiyaya qədər), 10% Mo ilə ərintinin strukturu, Ti-nin yüksək temperaturlu β - fazası həcmi mərkəzləşmiş kub (HMK) strukturuna uyğun olan molibdenin, qalayın və titanın kristallik qəfəsindəki qatı məhluludur. Bütün əlavə, nəzəri rentgen difraksiyası ilə müqayisədə (211) nümunələrin tekstura deformasiyasının mövcudluğuna görə bu ərintinin rentgen difraksiyasında xətlərin intensivliyinin yenidən bölüşdürülməsi müşahidə olunur. Yüksək temperaturlu β -fazaya qədər möhkəmlənmiş nümunələrin tək oxlu dartılma sınağı nəticəsində β - fazaya uyğun gələn xətlər artıq deformasiyanın başlanğıc mərhələsində (1.5%) yox olur, və bu halda α'' - fazanın ortorombik qəfəslə deformasiyası zamanı kifayət qədər intensiv martensit xətləri meydana gəlir.

Deformasiya dərəcəsinin 5% və 10% -ə qədər artması ilə, martensit xətlərinin intensivliyi böyüyür və yenidən bölüşdürülür. Bu da onunla izah olunur ki, deformasiya zamanı müxtəlif müstəvilər üzrə martensit lövhələrin sayı artır və bu artım qeyd olunan prosesə səbəb olur. Bu halda hər hansı istiqamətlər üzrə martensit lövhələrinin artımı üstünlük təşkil etməyə başlayır. Bu həm də deformasiya dərəcəsinin artması ilə kristal quruluşun əsasən, dislokasiyalar, ikiləşmələr və ümumi qüsurların (difraksiya zirvələrinin müşahidə olunan asimmetriyasına səbəb olur) artması ilə əlaqədardır deformasiya nəticəsində ilkin β -fazasında mikrogərginliklərin meydana gəlməsi səbəbindən ilkin β -faza xətlərinin genişlənməsi də müşahidə olunur.



Şəkil 7. Müxtəlif deformasiya dərəcələrində Ti-10%Mo-4%Sn ərintisinin rentgen diffraksiyası nümunələri

14% Mo olan Ti ərintilərində, deformasiya martensitinin əmələ gəlməsi ilə əlaqədar oxşar strukturlu dəyişikliklər yalnız tərkibində qalayın kütlə payı 2% olan ərintilər üçün aşkar edilmişdir.

NƏTİCƏ

1. Ənənəvi tədqiqat metodları və kompüter simulyasiyası vasitələrindən istifadə edərək yeni Ti-(10-14%)Mo-(1-8%)Sn üçlü ərintisi üçün tərkib elementlərin manipulyasiyası aparılmış və yüksək plastikliyi qorumaqla möhkəmlik xassələrinin praktiki olaraq artırılmasınınin təcrübi əsasları işlənmişdir.
2. Tədqiq olunan ərintilər üçün legirleyici kimi iki element təklif olunmuşdur. Bunlardan Mo martensit çevrilməsi temperaturunu aşağı salan β -izomorf stabilizator, Sn α -izomorfik stabilizator element olmasına baxmayaraq tədqiq olunan ərintilərdə neytral stabilləşdirici element kimi təqdim edilmişdir. Ərintinin tərkibinin dəyişdirilməsi modelinin işlənməsi nəticəsində Mo

sabit saxlamaqla Ti-nın Sn-lə əvəzlənməsi qanunauyğunluğu müəyyən edilmişdir.

3. Bu tədqiqat işində ilk dəfə olaraq Z-mühiti üçün material seçimi problemi nəzərdən keçirilərək Z nömrə ilə qiymətləndirilmiş məlumatların məcmusu və Z-ədədlərin sıralanması əsasında material seçimi təklif edilmişdir.
4. Qeyri-səlis yanaşma əsasında müəyyən edilən ilkin anlayışlar 6 təriflə ifadə olunmuşdur: qeyri –səlis ədəd xüsusiyyətləri; big data kimi nəticələrin proqnozlaşdırılmasını həyata keçirmək; problem hesab olunan məlumatların çoxluqlara bölünməsi; ƏGƏR-ONDA qaydalarından istifadə etməklə girişləri xəritələndirən sistemin tətbiqi; n ölçülü qeyri səlis vektorlar arasında məsafə; qeyri-səlis ədədlərin cakart indeksinə bənzərliyi. Bu təriflər əsasında yeni qeyri-səlis qaydalar tərtib edilmişdir.
5. Analitik proqramlaşdırmanın köməyi ilə həyata keçirilən tədqiqatlar nəticəsində ərintilərin sintezi üçün soyuq yayma prosesinin ən mühüm əməliyyat olması və bu əməliyyatdan sonra homogenləşdirmə rejimlərin təyin edilməsinin əsas şərt olduğu aşkar edilmişdir. Optimallaşdırma parametrləri əsasında yaymada əsas amil kimi presləmə dərəcəsinin yüksək olmasının soyuq emal olunma qabiliyyətinə təsir göstərdiyi müəyyən edilmişdir.
6. Termiki emal rejimləri əsasında fiziki xassələrinin dəyişməsi öyrənilərək sübut olunmuşdur ki, bütün Ti-Mo-Sn ərintiləri üçün metastabil beta strukturunun aşağı temperaturlara qədər saxlama qabiliyyəti var və bu fazadan çevrilmə mümkünlüyünün temperatur və mexaniki gərginliklər sayəsində baş verməsi təsdiqlənmişdir.
7. Ti-12Mo-2Sn tərkibi üçün bir oxlu gərilmə şəraitində mexaniki xassələrə görə Ti-xMo-ySn ərintiləri arasında ən optimal birləşmə kimi müəyyənləşdirilmişdir. Bütün Ti-Mo-Sn üçlü ərintilərə tətbiq olunan eyni termomexaniki emaldan sonra 40% yüksək plastiklik səviyyəsi və Yunq modulunun artması ilə möhkəmlik göstəricilərinin maksimum qiymətinin σ 0.2 600 MPa və σ_m 1130MPa olması müəyyən edilmişdir.

8. Biroxlu deformasiya-gərginlik sınağı zamanı ən böyük artım gərginliyinin möhkəmlənmə sürətinin maksimum dəyərində malik olan Ti-10Mo-(2,4,6)Sn tərkibli ərintisinə məxsus olduğu aşkar edilmişdir. Qeyd olunan üçlü ərintilər içərisində tərkibə 4% Sn daxil edilməsi ilə legirlənən və mexaniki xassələrin ən optimal qiymətinə malik olan ərinti digər tərkiblərdən xüsusi ilə seçilir.
9. Təcrübi araşdırmalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturunda tərkibində 10, 12 və 14 kt. % molibden olan üçlü Ti-Mo-XSn sisteminin deformasiya ilə möhkəmləndirilmiş ərintilərinin mexaniki xassələrinin dəyişməsi kompleks şəkildə baş verir. Bu halda $(X\%Mo+Y\%Sn)=14$ kt. % nisbətində legirlənən elementlərin konsentrasiyaları uyğun gəlir. Qalay konsentrasiyasının az miqdarda təbiiqi legirləmə zamanı titan-molibden ərintilərinin plastikliyini itirmədən möhkəmlənməsi halı effektiv hesab olunmuşdur.
10. Müəyyən edilmişdir ki, Ti-(10-14)Mo-XSn üçlü ərintilərinin yüksək plastikliyi TRIP/TWIP kanalları boyunca əmələ gələn deformasiyanın mürəkkəb təbiəti ilə əlaqədardır. Bu da SEM və XRD məlumatlarına əsasən aşkar edilmiş strukturlarla tam sübut olunur.

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə dərc edilmiş elmi əsərlər:

1. Бабанлы М. Б., Гаджиев Р. Д., Азимова Л. Г., Гусейнов В. М. Методика получения наноструктурных сплавов с эффектом памяти формы // AzTU Elmi Əsərlər. "Yüksək texnologiyalar və ali təhsil". Beynəlxalq elmi texniki konfransın materialları. 21 – 24 noyabr 2011. Səh. 63 – 66.
2. Бабанлы М. Б., Гаджиев Р. Д., Гусейнов В. М. Механические свойства многокомпонентных сплавов на основе TiNi полученные инновационными технологиями // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сборник трудов III Международной научно - практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых. Том 1, 24 -25 Май 2012. Томск, Россия. Стр. 153 – 155.
3. Бабанлы М., Салимов З., Вермо Ф., Гусейнов В. Мартенситное превращения в сплавах TiNiNb // AzTU Elmi Əsərlər. Ümummill

- lider Heydər Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” I Beynəlxalq elmi konfransın materialları. Bakı, Azərbaycan 29 – 30 aprel 2013. səh. 103 – 105.
4. Babanlı M., Vermaut P., Prima F., Huseynov V. TiMoSn ərintilərinin mikrostrukturunun tədqiqi // Sənaye ilinə həsr olunmuş Elmi – texniki konfransın materialları. AzTU, Bakı, Azərbaycan, 2014, səh. 66 – 70.
 5. Babanlı M., Vermaut P., Prima F., Sun F., Brozek C., Huseynov V. Effect of Sn addition in Titanium alloys // “Thermophysical and mechanical properties of advanced materials” and 4th rostocker international symposium, thermam 2015, Baku, Azerbaijan. p. 38 – 39.
 6. Babanlı M. B., Huseynov V. M. TiMoSn ərintilərinin quruluş və mexaniki xassələri // Materiallar fizikasının müasir problemləri, V Beynəlxalq Elmi – Praktiki konfransın materialları, AzMİU, Bakı, Azərbaycan, 2016. səh. 136 – 139.
 7. Babanlı M. B., Huseynov V. M. Z – number – based Alloy Selection Problem // ICAFS 2016, Procedia Computer Science, Volume 102, 2016, p. 183 – 189. doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.387
 8. Babanlı M. B., Huseynov V. M. Ərintinin mikrostrukturlarının dizayn edilmə problemləri // Müasir təbiət elmlərinin aktual problemləri. Beynəlxalq Elmi Konfrans, 4 – 5 May 2017, Gəncə, Azərbaycan. Səh 27.
 9. Babanlı M. B., Prima F., Vermaut P., Demchenko L. D., Titenko A. N., Huseynov S. S., Hacıyev R. J. Huseynov V. M. Material Selection Methods: A Review // ICAFS 2018, 27 – 28 August 2018, Warsaw, Poland, Procedia Computer Science, Volume 896, p. 929 – 936. doi.org/10.1007/978-3-030-04164-9_123
 10. Babanlı M. B., Prima F., Vermaut P., Demchenko L. D., Titenko A. N., Huseynov S. S., Hacıyev R. J. Huseynov V. Review on the New Materials Design Methods // ICAFS 2018, 27 – 28 August 2018, Warsaw, Poland, Procedia Computer Science, Volume 896, p. 929 – 936. doi.org/10.1007/978-3-030-04164-9_123
 11. Бабанлы М. Б., Гусейнов С.С., Перекос А.О., Демченко Л.Д., Титенко А.Н., Гусейнов В. М. Нові потрійні функціональні сплави титану // Функціональні матеріали для інноваційної енергетики. 13 – 15 травня 2019 р. Київ, Україна. Збірка тез конференції. с. 12.
 12. Huseynov V. M. Ti-12Mo-xSn sistemində qalayın ərintinin mexaniki xassələrinə təsiri // Avadanlıqlar. Texnologiyalar. Materiallar. Elmi texniki jurnal. № 4, 2020
 13. Huseynov V. M. Mexaniki legirləmə üsulu ilə hazırlanmış biotibbi Ti-Mo-Sn ərintisinin mikroquruluş xüsusiyyətləri // Proceeding of

azerbaijan high technical educational institutions. Volume 05. ISSUE 01. 2021 p. 4-9.

14. Бабанлы М. Б., Гусейнов С.С., Перекос А.О., Демченко Л.Д., Титенко А.Н., Гусейнов В. М.Нові потрійні функціональні стопи титану // Metallophysics and Advanced Technologies. 2021, vol. 43, No. 3, pp. 367–381. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.03.0367>

Həmmüəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə iddiaçının şəxsi əməyi:

[1], [4] – Məsələnin qoyuluşu, alınan nəticələrin təhlili;

[3],[6],[7],[8],[9], [10] – müstəqil yerinə yetirilib.

Dissertasiyanın müdafiəsi «8» sentyabr 2023-ci il tarixində saat 13⁰⁰-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED2.02 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti 34.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat «25» iyun 2023-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 00.00.2023

Kağızın formatı: A5

Ҳәҷм: 36501

Тираж: 100 нүсхә