

*Əlyazması hüququnda*

**XƏYAL ƏLİŞA oğlu İBRAHİMOV**

**TİTANLA QİSMƏN LEGİRLƏNMİŞ ELEKTROTEXNİKA  
TƏYİNATLI ALÜMİNİUM ƏRİNTİSİNİN İŞLƏNMƏSİ**

3315.01 – Metallurgiya texnologiyası

texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş *d i s s e r t a s i y a n ı n*

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

Elmi rəhbər:

t.e.d., prof. İsmayılov N.Ş.

**BAKİ – 2018**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Son zamanlar ölkəmizdə qeyri-neft sahələri, xüsusən sənaye və energetikanın sürətli inkişafı müşahidə olunur. Bu gün Azərbaycan qonşu ölkələrə elektrik enerjisi ixrac edir. Energetikanın inkişafı elektrik enerjisinin hasilatı və onun uzaq məsafələrə ötürülməsini tələb edir. Bu isə qonşu sahələrin, o cümlədən metallurgiya texnologiyalarının prioritet sahə kimi inkişafını şərtləndirir.

Hazırda alüminium ərintiləri elm və texnikada mexaniki, fiziki-kimyəvi və korroziya xassələrinin yüksəkliyi, habelə yüksək texnolojiliyinə görə geniş istifadə olunur. Bunun daha bir səbəbi alüminium filizlərinin ölkəmizdə böyük miqdarda təbii ehtiyatlara malik olmasıdır.

Azərbaycanda alüminium ərintilərinin istehsalı da böyük maddi-texniki potensiala malikdir. Ölkəmizdə gil-torpaqdan alüminium oksidi və ondan da alüminium ərintiləri və müxtəlif təyinatlı məhsullar istehsal edən bir neçə iri sənaye müəssisəsi fəaliyyət göstərir.

Alüminiuma nadir xüsusiyyətlər, başlıcası isə yüksək elektrik keçiriciliyi xasdır və məhz bu xassəsinə görə alüminium ərintiləri bir çox sahələrdə, o cümlədən elektrotexnikada geniş istifadə olunur.

Məlumdur ki, alüminium ərintiləri yüksək gərginlikli elektrik xətləri naqillərini hazırlamaq üçün geniş tətbiq edilir. Elektrik keçiriciliyini bu və ya digər dərəcədə azaltdığından legirləyici elementlərin alüminium ərintisinə əlavə edilməsi məhdudlaşdırılır və naqilləri əsasən texniki alüminiumdan hazırlayırlar.

Son zamanlar energetika sektorunda yüksək möhkəmlik və termiki sabillik xassələri nümayiş etdirən ərintilərin işlənməsinə böyük maraq müşahidə olunur. Belə ərintilərdən hazırlanan naqillərdən yüksək elektrik keçiriciliyi və 300°C-dək temperaturda kifayət qədər möhkəmliyini qoruyub saxlamaq tələb olunur.

Fikrimizcə, bizim ölkə üçün daha münasib yol qənaətlə bu elementlərdən biri və ya ikisi ilə legirlənmiş rasionallıq tərkibli alüminium ərintisinin işlənməsi və ondan zavodlarımızda mövcud texnoloji imkanlardan istifadə etməklə yayma məhsulları istehsalının mənimsənilməsidir.

MDB məkanında da belə ərintilərin işlənməsinə müəyyən cəhdlər edilir, çünki belə ərintilərə ciddi tələbat hiss olunur. 2012-ci ilin mayında AzTU-nun bir qrup Metallurq alimlərinin Sumqayıt Texnologiyalar Parkına (STP) səfəri zamanı belə ərintilərin işlənməsi və onlardan termiki stabil və kifayət qədər möhkəm naqillərin hazırlanması texnologiyasının mənimsənilməsi məsələsi aktual bir problem kimi irəli sürülmüşdür.

Ona görə də belə ərintilərin işlənməsi və onlardan zavodlarımızda seriyalı sənaye avadanlığı istifadə etməklə naqillərin istehsal texnologiyasının mənimsənilməsi ciddi bir vəzifə kimi qarşıda durur. Bu texnologiyanın ən vacib mərhələlərindən biri əritmə, tökmə, termiki və deformasiya emalı parametrlərinin müəyyən etməklə alüminium ərintisindən yayma məhsulları istehsalını mənimsəməkdir.

Odur ki, qənaətlə legirləməklə yanaşı, tələb olunan möhkəmlik, termiki stabillik və məqbul elektrik xassələrinin təmin edilməsi kompleks tədqiqatların aparılmasını tələb edir. Ərintinin tərkibinin və texnoloji emal rejimlərinin struktur və xassələrə təsirinin öyrənilməsi də böyük maraq kəsb edən məsələlərdir.

Beləliklə, məhz belə məsələnin həllinə yönəldiyindən və bu sahədə texniki-texnoloji işləmələrə həsr olunduğundan təqdim olunan dissertasiya tədqiqatları elmi və təcrübi əhəmiyyətə malikdir və aktualdır.

**Dissertasiya işinin məqsədi** rəasional tərkib və strukturun formalaşdırılması əsasında münasib möhkəmlik və elektrik xassələrinə malik qismən legirlənmiş alüminium ərintisi və ondan elektrotexnika təyinatlı yayma məhsulları istehsalı texnologiyasının işlənməsidir.

Qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı **elmi və təcrübi məsələlərin** həlli nəzərdə tutulmuşdur:

- Al ərintilərinin struktur və xassələrinin öyrənilməsi;
- Al ərintilərinin struktur və xassələrinə müxtəlif legirləyici elementlərin təsirinin araşdırılması;
- Al ərintilərinin tərkibi, strukturu və xassələri arasında qarşılıqlı əlaqələrin müəyyən edilməsi;
- qənaətlə legirlənmiş Al ərintisi və yayma məhsullarının istehsalı texnologiyasının işlənməsi;
- elmi əsaslandırılmış texniki-texnoloji işləmələrin təcrübi sınaqlarının aparılması və nəticələrin ümumiləşdirilməsi.

**Elmi yeniliklər.** Alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə silisium, dəmir, manqan, maqnezium, sirkonium və titanın təsirinin xarakteri dəqiqləşdirilmişdir. Əritmə, tökmə və deformasiya proseslərində texnoloji amillərin alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə təsiri müəyyən edilmişdir. Titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintisinin rəasional tərkibi, strukturu, fiziki-mexaniki və elektrik xassələri təyin olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintisindən külçələr yaxşı deformasiya olunur, münasib möhkəmlik və elektrik xassələri nümayiş etdirir.

Təyin olunmuşdur ki, qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintisindən alınmış külçələrin deformasiya olunmuş vəziyyətdə möhkəmlik xassələri titanın miqdarından cüzi asılılığa malikdir, əhəmiyyətli effekt 300°C-də tabaldmadan sonra müşahidə olunur. Müəyyən olunmuşdur ki, qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintisindən alınmış yayma məhsulları – çubuq və məftillər möhkəmliyini 400°C-dək qoruyur. Bu effekt ərintinin strukturunda ifrat soyutma hesabına formalaşdırılan dispersoidlərin yaranması ilə izah olunmuşdur.

Müəyyən olunmuşdur ki, titanla qənaətlə legirləmə nəticəsində deformasiyadan sonra ərintinin elektrik müqaviməti bir qədər artır, lakin düzgün termiki emal rejimləri seçməklə müsbət nəticələrə nail olmaq mümkündür. Elektrik və mexaniki xassələrin münasib qiymətlərini təmin edən tökmə və deformasiya parametrlərinin optimal hədləri müəyyən olunmuşdur.

**Tədqiqat obyektı** qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintiləri, **tədqiqatın predmeti** isə həmin ərintilərin tərkibi, strukturu və xassələri, habelə bu ərintilərdən yayma məhsullarının alınmasının texnoloji prosesləridir.

**İşin təcrübi əhəmiyyəti** titanla qənaətlə legirləməklə alüminium ərintisi və ondan yayma məhsulları alınması texnologiyası işlənməsindən ibarətdir. Azlegirli alüminium ərintisi yüksək gərginlikli elektrik xətləri üçün naqillər istehsalında tətbiq edilə bilər.

Alüminium ərintisinin əridilməsi, tökülməsi, termiki və deformasiya emalı proseslərinin texnoloji parametrləri müəyyən olunmuşdur. Təcrübi ərintidən yayma məhsulları hazırlanmış və sınaqları aparılmışdır. Yayma məhsullarının məqbul mexaniki və elektrik

xassələrinə malik olduğu təsdiq olunmuşdur. Texniki-texnoloji işləmələrin nəticələri Sumqayıt STP-yə təqdim olunmuşdur.

**Tədqiqat metodları və nəticələrin dürüstlüyü.** Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş məsələlər laboratoriya və istehsalat şəraitində aparılmış nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında həll edilmişdir. Alınmış nəticələrin dürüstlüyü müasir cihazlar və ölçmə vasitələri, qurğu və ləvazimatların istifadə olunması ilə aparılmış eksperimental tədqiqatlarla təsdiqlənmişdir.

**İşin nəticələri** Sumqayıt Texnologiyalar Parkının zavodlarında yüksək gərginlikli elektrik naqillərinin istehsalında praktiki yoxlamadan keçərək tətbiq üçün tövsiyə olunmuşdur.

**İşin aprobeiasyası.** Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı konfranslarda və seminarlarda təqdim olunaraq müzakirə olunmuşdur: “Materiallar texnologiyası” kafedrasının elmi-metodik seminarları, 2012-2017-ci illər; AzTU-nun professor-müəllim heyətinin elmi-texniki konfransları, 2012-2017-ci illər; beynəlxalq və respublika elmi-texniki konfransları, 2013, 2015, 2017-ci illər.

**İşin dərci.** İşin əsas məzmunu 19 elmi işdə, o cümlədən 4-ü xaricdə, 2-si ingilis dilində, 1 məqalə Skopus bazasına daxil olan jurnalda dərc olunmuşdur.

**İşin strukuru və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, 5 fəsil, əsas nəticələr və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya 156 səhifə kompüter mətnində təqdim olunur, iş 27 şəkil, 14 cədvəl, 124 adda ədəbiyyat mənbəyindən ibarətdir.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış və qoyulmuş problemin işlənmə səviyyəsi araşdırılmışdır. Tədqiqatların məqsədi və vəzifələri müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi və təcrübə əhəmiyyəti formalaşdırılmışdır.

**Birinci fəsil** alüminium ərintilərinin işlənilməsi vəziyyətinə dair ədəbiyyat və istehsalat məlumatlarının icmalına həsr olunmuşdur.

Müəyyən olunmuşdur ki, hazırda metallurgiya sənayesinin istehsal etdiyi tökmə və deformasiya olunan alüminium ərintiləri yüksək texnologiyə malik olsalar da, nisbətən aşağı istismar xassələrinə malikdir və elektrotexnika məhsullarına qoyulan tələbləri tam ödəmirlər. Burada isə yüksək möhkəmlik, istiyə dözümlülük və elektrik xassələri tələb olunur.

Göstərilmişdir ki, alüminiumun keçid metalları ilə legirlənmiş mövcud ərintiləri 250°C-dək temperaturda istiyədözümlüyə malikdirlər, lakin deformasiya etməklə elektrik naqilləri istehsalının baha başa gəlməsi bu ərintilərin geniş tətbiqini məhdudlaşdırır. Al-Me sistemi ikili ərintilərində metastabil intermetallik birləşmələr yaranır və kristallaşma zamanı onların ilkin dendritlər şəklində ayrılması müşahidə olunur. Nəticədə bərk məhlulun möhkəmlənmə effekti azalır və kövrək fazaların yaranması ehtimalı artır.

Təsdiq olunmuşdur ki, tökmə və deformasiya olunan alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə Al-Me sistemində yaranan ilkin kristallar mənfi təsir göstərdiyinə görə legirləyici elementlərin miqdarı məhdud olmalıdır. Al-Si-Fe sisteminə əlavə qismində Cr, Mn, Zr, Sc və Ti-in verilməsi perspektivli hesab oluna bilər. Alüminium ərintilərinin titanla legirlənməsinin nəzəri əsaslarında Al-Ti hal diaqramı durur. Bu diaqrama görə ərinti TiAl birləşmələri əsasında bərk məhlulun geniş oblastı ilə xarakterizə olunur.

Aparılmış ədəbiyyat və istehsalat icmalı nəticəsində elektrotexnika təyinatlı məhsullar üçün alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə müsbət təsir göstərən legirləyici element qismində titanın istifadə edilməsinin məqsədəuyğunluğu təsdiqlənmişdir.

Beləliklə, elektrotexnika təyinatlı alüminium ərintilərinin işlənməsi aktual bir elmi-texniki problem kimi gündəmdədir. Bu problemin həlli ölkəmizdə energetika sektorunun daha güclü inkişafına töhfə ola bilər.

**İkinci fəsil** tədqiqatların obyektı, istifadə olunan materiallar, metod və vasitələrinə həsr olunmuşdur. Tədqiqatlar iki mərhələdə aparılmışdır: laboratoriya şəraitində eksperimental ərinti tərkibləri işlənmiş, sonra onların müxtəlif fiziki-kimyəvi və istismar xassələri

tədqiq olunmuşdur. Eksperimental ərintilər əsasən Al-Si sisteminə müxtəlif legirleyicilər əlavələr verməklə tərtib olunmuşdur.

Ərintilərindən soyuq və isti deformasiyaya uğratmaqla müxtəlif forma və ölçülü külçə, pəstah, vərəq və məfillər hazırlanmışdır. Eksperimental ərintilərin kimyəvi tərkibləri cədv. 2.1-də verilmişdir.

Alüminium ərintiləri qrafit putalarda 50-kq-lıq elektrik müqavimət sobasında hazırlanmışdır. Maye metal xüsusi polad metal qəliblərə təxminən 750°C-də tökülmüşdür. Kristallaşma intervalında qəlibdə orta soyuma sürəti 10-20 K/san təşkil etmişdir. Maye ərintidən 15x30x200mm ölçülərində duzbucaqlı külçələr tökülmüşdür.

Külçələr CHOJI –2,0-M2 elektrik sobalarında qızdıraraq saniyədə təxminən 10 K sürətlə soyutmanı təmin etməklə termiki emala uğradılmışdır. Termiki emalın məqsədlərindən asılı olaraq nümunələr müxtəlif temperaturadək qızdırılmış, bu temperaturda saxlanılmış, sonra sobada və havada soyudulmuşlar.

Deformasiya olunan pəstahlar, ilkin və aralıq qızdırmaqla təxminən 10-12 keçid ərzində laboratoriya yayma dəzgahında külçələrdən alınmışdır. Vərəqşəkilli pəstahların qalınlığı 2,00 mm təşkil etmişdir, belə vərəqlər təxminən 90% deformasiya dərəcəsinə malik olmuşdur. Sumqayıt Texnoloji Parkı (STP) şəraitində uzunluğu 300, diametri 40mm olan külçələrdən deformasiya və termiki emalın müxtəlif rejimlərlə məfillər alınmışdır.

Alüminium ərintilərinin kimyəvi tərkibi STP-nin texnoloji laboratoriyasında ARL 1583 markalı emissiyalı spektrometrdə təyin olunmuşdur. Sonra külçələr aralıq tabalma tətbiq edilməklə soyuq deformasiyaya uğradılmış və qalınlığı ~2,0 mm olan vərəqlər alınmışdır. Aralıq tabalma 500°C-dən aşağı temperaturda pilləli rejim üzrə aparılmışdır. Yekun tabalma 1, 10 və 100 saat ərzində 300°C-də aparılmışdır.

Eksperimental alüminium ərintilərinin tərkibi aşağıdakı metodika üzrə formalaşdırılmışdır: 1-ci seriyadan olan ərintilərdə titanın miqdarı minimum (0,15%), 3-cü seriyada 0,45% təşkil etmişdir. Bütün ərintilərin tərkibində daimi aşqar kimi 0,10-0,14% Fe və 0,10%-dək Si olmuşdur. Eksperimental ərintilərin likvidus temperaturu 730-800°C intervalında dəyişmişdir.

Cədvəl 1

## Eksperimental almüninium ərintilərin tərkibləri

№	Miqdarı, kütlə %				T <sub>L</sub> , °C	Külçə	Deformasiya a olunma vəziyyəti
	Ti	Fe	Si	Al			
1-ci seriya							
1	0,1 5	0,12	0,04	əsas 1	72 4	külçə	məftil
2-ci seriya							
2	0,2 8	<0,0 1	<0,0 1	əsas 1	73 0	pəstah	çubuq
3	0,3 0	<0,0 1	<0,0 1	əsas 1	76 0	çubuq	məftil
4	0,2 6	<0,0 1	<0,0 1	əsas 1	75 0	külçə	çubuq
3-cü seriya							
5	0,4 2	0,10	0,06	əsas 1	78 0	külçə	məftil
6	0,4 5	0,12	0,05	əsas 1	80 0	pəstah	çubuq
7	0,4 0	0,14	0,07	əsas 1	77 0	çubuq	pəstah

Alüminium ərintilərinin elektrik xassələrinə legirleyici elementlərin təsirini qiymətləndirmək üçün standart ölçülü müstəvi nümunələrin xüsusi elektrik müqaviməti OM-2 markalı rəqəmli milliommetr vasitəsilə ölçülmüşdür. Metalloqrafik struktur tədqiqatları optik, skanerli və elektron mikroskopların köməyiylə aparılmışdır. Zərif



metalloqrafik struktur tədqiqatları İnteqra Prima markalı skanerləyici zondlu mikroskopunun köməyiylə aparılmışdır.

Tədqiqat obyektləri kimi almüniüm ərintisinin metal qəlibə tökülmüş və termiki emal olunmuş külçələrinin mərkəzi hissəsindən kəsilmiş nümunələr götürülmüşdür. Numunələrdən şliflər elektrolitik cilalama və aşqarlama qurğusunda hazırlanmışdır.

**Üçüncü fəsildə** seriyalı və təcrübi alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə legirləyici elementlərin miqdarı və texnoloji parametrlərin təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqat işlərinin birinci mərhələsində seriyalı A5E və A7E ərintilərindən, sonra isə əsasən titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintilərindən külçə və məftillərin struktur və xassələrinin müqayisəsi aparılmışdır.

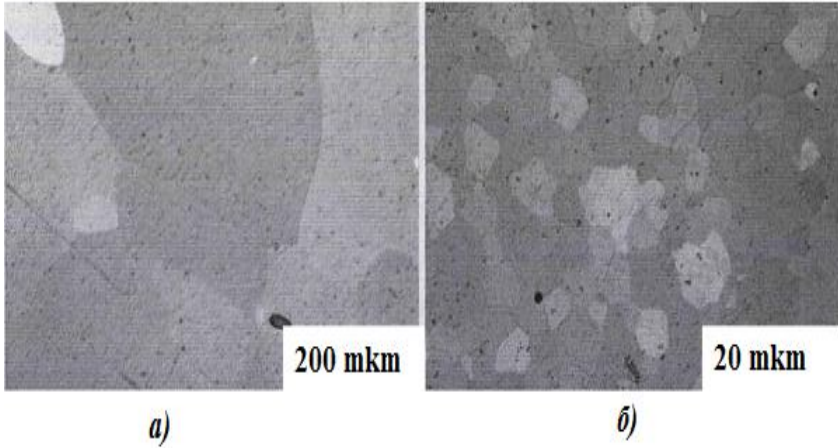
Müəyyən olunmuşdur ki, seriyalı alüminium ərintilərindən deformasiya etməklə alınmış pəstahlar nisbətən aşağı temperaturlarda işləmək qabiliyyətlərinə malikdirlər və 300°C temperaturda öz möhkəmlik xassələrini xeyli itirirlər. Mexaniki xassələrdə azalma bəzi hallarda 2 dəfədən çox olur və naqillərin temperatur təsirindən yumşalması ilə müşahidə olunur. Bütün bunlar, öz növbəsində naqillərin yükəgötürmə qabiliyyətini aşağı salır.

Aşkar olunmuşdur ki, seriyalı alüminium ərintilərindən alınmış pəstahların yüksək temperaturda möhkəmliyinin kəskin azalması və plastikliyinin artması tabalma zamanı gedən rekrystallaşma prosesilə izah olunur. A5E və A7E ərintisində ilkin dendritlərin ölçüsü 200mkm ətrafında müşahidə olunur (şək. 2,a). Alüminium əsasında bərk məhlulda yaranan intermetallik birləşmələr də bu yumşalmanın qarşısını ala bilmirlər.

Təsdiq olunmuşdur ki, alüminium ərintilərinə legirləyicilərin əlavə edilməsi temperatur təsirindən strukturda gedən yumşalmanı xeyli azaldır. Nəticədə pəstahların mexaniki xassələrinin temperaturdan asılılığı zəifləyir.

Mexaniki xassələrin yaxşılaşması alüminium əsasında bərk məhlulda  $TiAl_3$  fazasının və  $Al_3Fe$  tipli dispers kristalların yaranması ilə izah olunmuşdur. Bu halda dənələrin güclü xırdalanması müşahidə olunur, 20-50mkm həddində dispers dənələr yaranır (şək. 2, b).

Şəkil 1. Al-Ti ərintilərinin



tö

kmə külçələrin dənə strukturu:

a – A7E; b – 0,15% Ti (x1500)

Təyin olunmuşdur ki, tökmə temperaturu və soyuma sürətini tənzimləməklə Al-Ti ərintilərinin strukturuna və mexaniki xassələrinə müəyyən müsbət təsir göstərmək mümkündür. Lakin struktura daha güclü təsir etmək üçün texniki alüminiumla müqayisədə legirlənmiş ərintiləri əhəmiyyətli dərəcədə ifrat qızdırmaq lazımdır. Yalnız tökmə temperaturu ərimə temperaturundan xeyli yüksək olduqda yüksək dispers strukturun alınması təmin edilə bilər.

Göstərilmişdir ki, tərkibində titan olan ərintilərdən alınan külçələrin struktur və xassələrinə soyutma sürəti mühüm təsirə malikdir. Soyutma sürətinin mümkün qədər yüksək olması daha xırda dənəli strukturun formalaşmasına gətirib çıxarır.

Müəyyən olunmuşdur ki, titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintilərinin yükəgötürmə qabiliyyətinin daha da artırılması ərintilərin digər keçid elementlərlə birgə səmərəli legirlənməsi ilə mümkündür. Lakin bahalı və texnoloji çətinliklərlə əlaqədar olduğundan belə legirləmə məqsədəuyğun hesab olunmamışdır.

**Dördüncü fəsildə** deformasiya və termiki emal rejimlərinin Al-Ti ərintilərinin mexaniki və elektrik xassələrinə təsirinin eksperimental tədqiqatlarının nəticələri şərh olunmuşdur.

Deformasiya və termiki emal parametrlərinin legirlənməmiş və titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintilərinin mexaniki xassələrinə və elektrik müqavimətinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, legirlənməmiş alüminium ərintilərinə soyuq deformasiyadan sonra 280-440°C intervalında aparılan tabalma onların möhkəmlik xassələrini xeyli azaldır və plastikini yüksəldir. Belə ərintilərdən elektrotexnika təyinatlı məhsullar termiki sabillik və yüklənmə qabiliyyətinə qoyulan tələbləri ödəmir.

Təyin olunmuşdur ki, alüminium ərintisinə qənaətlə titan əlavə edilməsi bu mənzərəni dəyişdirir. Belə ki, legirlənmiş ərintilərin tabalmadan sonra möhkəmlik xassələri müsbət istiqamətdə dəyişir və 280-350°C temperaturlarda bu ərintilərdən hazırlanmış məmulatların yüklənmə qabiliyyəti xeyli artır. Bu effekt titanla legirlənmiş alüminium ərintilərinə tabalma nəticəsində bərk məhlulda temperatura davamlı dispersoidlərin yaranması ilə izah olunur. Bu dispers zərrəciklər matrisdə daha iri dənələrin yaranmasının qarşısını alır (şəx. 3).

Cədvəl 2

Vərəqlərin mexaniki xassələrinə tabalmanın təsiri

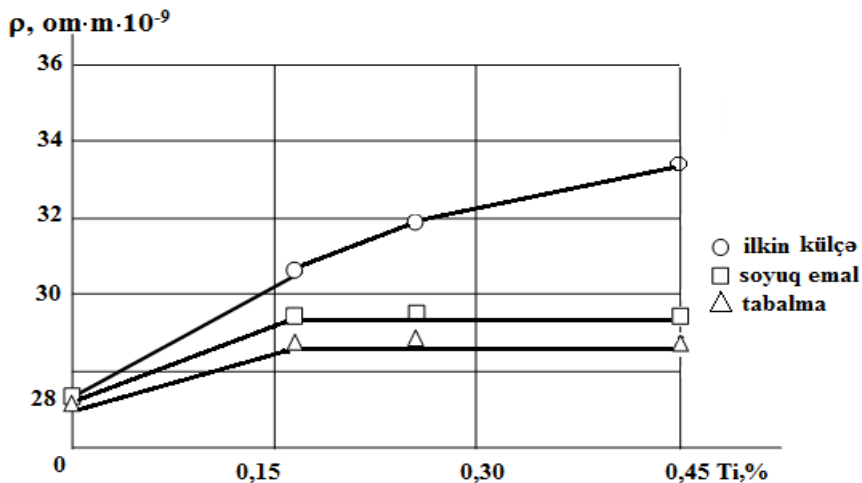
Ərinti	Tabalma rejimi	$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_{0,2}$ , MPa	$\delta$ , %
A7E	Yox	160	148	5,0
	280°C	102	100	9,0
0,45% Ti	Yox	180	170	5,0
	280°C	178	172	8,0

Cədvəl 3

Məfillərin mexaniki xassələrinə tabalmanın təsiri

Ərintinin növü	Məftilin Diametri	Tabalma rejimi	$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_{0,2}$ , MPa	$\delta$ , %
A7E	1,4mm	yox	180	160	3,2
		280 <sup>°C</sup>	78	40	4,2
0,45 Ti	1,4 mm	yox	270	242	2,6
		280 <sup>°C</sup>	192	180	7,2
		F1+350°C,1s	180	160	8,2
		F1+400°C,1s	166	140	9,7
	3,8 mm	yox	240	210	3,0
		280 <sup>°C</sup>	190	170	7,4

Müəyyən edilmişdir ki, tərkibdə titanın miqdarının 0,5-0,6%-dən çox artırılması alüminium əsaslı ərintinin elektrik xassələrinə mənfi təsir göstərir. Külçə, vərəq və məfillərin 400-500°C intervalında tabalmaya uğradılması zamanı elektrik müqaviməti minimum qiymətə malik olur.



Şəkil 2. Ərintidə titanın miqdarının vərəqlərin elektrik müqavimətinə təsiri

Ərintilərin elektrik müqavimətlərinin tabalma müddətindən asılılığı

Cədvəl 4

Sıra №	Ərinti	280°C - də tabalma müddəti, saat					
		0	1 saat	8 saat	80 saat	160 saat	480 saat
1	A7E	28	28	28	28	26	26
2	0,15 Ti	30	28	26	24	22	20
3	0,30 Ti	32	30	28	26	24	22
4	0,45 Ti	34	32	31	30	29	28

Beləliklə, təsdiq olunmuşdur ki, fiziki-mexaniki və elektrik xassələrinin optimal birliyinə nail olmaq üçün kimyəvi tərkib, struktur və deformasiya-termiki emal rejimləri düzgün əlaqələndirilməlidir.

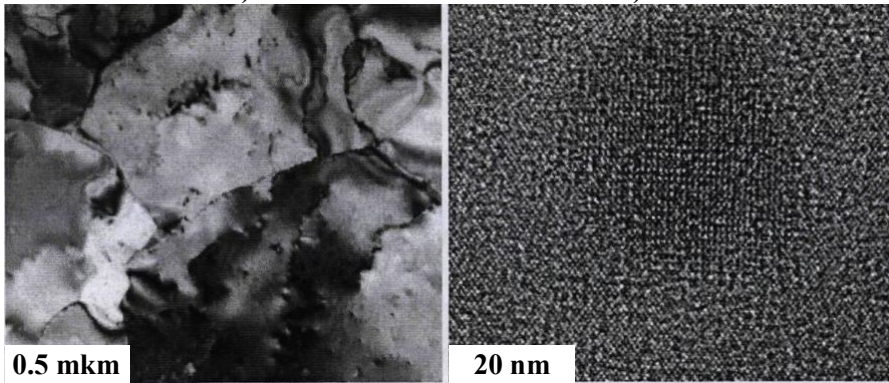
Cədvəl 5

Al-Ti ərintilərindən soyuq yayılmış vərəqlərin möhkəmlik həddinə (MPa) tabalma temperaturunun təsiri

Sıra №	Ərinti	Tabalma temperaturu, °C			
		0	280	380	480
1	A7E	100	80	60	40
2	A5E	80	70	60	50
3	0,15Ti	140	135	130	120
4	0,30Ti	160	150	140	120
5	0,45Ti	180	170	160	140

Alüminium ərintilərinin struktur və xassələrinə Fe və Si-un miqdarının təsiri öyrənilmişdir. Mürəkkəb legirlənmiş ərintilərdə dörd tip fazanın yaranması aşkar edilmişdir. Bu fazalar ümümlikdə aralıq tabalmadan sonra möhkəmliyin səviyyəsinin saxlanmasına xidmət edirlər. Elektrik və möhkəmlik xassələrinin formalaşmasına soyuq deformasiya və legirləyici elementlərin müsbət təsiri müşahidə edilmişdir.

**Beşinci fəsil** elektortexnika təyinatlı alüminium ərintilərinin təcrübi və sənaye sınaqlarının nəticələrinə həsr olunmuşdur. Təcrübi sınaqlar zamanı Al-Ti ərintilərdən külçələr hazırlamaq üçün STP-nin Metalritmə zavodu şəraitində təcrübi əritmələr aparılmışdır.



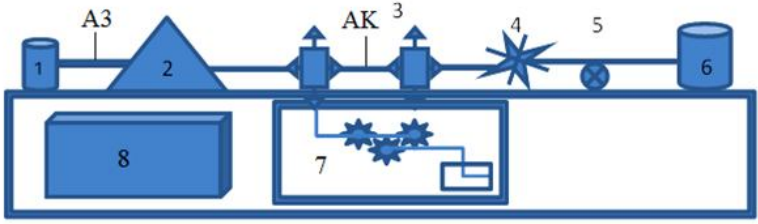
**a)**

**b)**

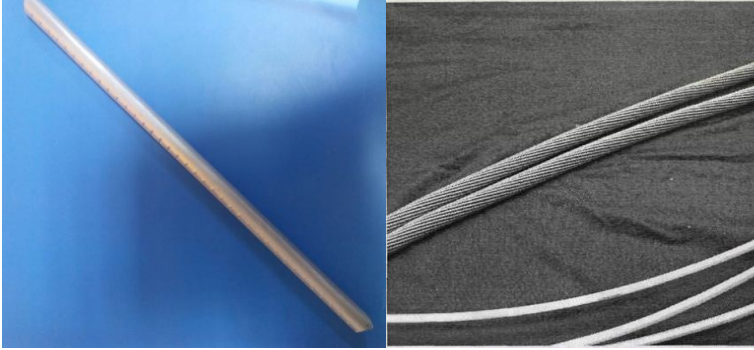
Şək. 3. 0,15% Ti olan Al ərintisinin 280°C-də 80 saat müddətində tabılmadan strukturu: a- subdənə; b -  $\text{TiAl}_3$  fazasının dispersoidləri (x15000)

Elektortexnika təyinatlı alüminium ərintilərinin STP-nin metal emalı müəssisəsi şəraitində (şək. 5) təcrübi sınaqları həyata keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu məqsədlə optimal tərkibli ərinti qənaətlə legirlənmiş Al-Ti ərintisi ola bilər. Lakin texnoloji parametrlər düzgün seçilmədikdə strukturda dendrit kristalları ayrılır və onlar alüminium əsasında bərk məhlulun, son nəticədə isə məmulatın elektrik xassələrinə mənfi təsir göstərir.

Məmulatın möhkəmlik xassələrini saxlamaq şərti ilə onun elektrik xassələrinin qorunması aktual bir məsələdir və onun həllinin əsas yollarından biri təkrar tabılma prosesidir. Bu tədbirin səmərəsini təmin etmək üçün alüminium ərintilərinin saflaşdırılması, külçələrin tökülməsi, yayma məhsullarının deformasiya və termiki emalının texnologiyasına ciddi riayət olunmalıdır.



Şəkil 4. Alüminium çubuğun alınmasının texnoloji sxemi:  
 1 – mikser; 2 – mis bandaj; 3 – soyutma xətti, 4 – qayçı; 5 – dolayıcıya istiqamətləndirici; 6 – dolayıcı; 7 – soyutma sisteminin anbarı; 8 – yağ-emulsiya anbarı; A3 – alüminium ərintisi ; AK – alüminium çubuq



Şək. 5. Legirli alüminium ərintisindən hazırlanmış çubuq və məftillər

Elektrotexnika təyinatlı məhsul istehsalında alüminium ərintilərinin daha yüksək keyfiyyətinə nail olmaq üçün nanotexnologiya elementlərindən istifadə məqsədəuyğun sayıla bilər. Nanostruktur



alüminium ərintilərində möhkəmlik və elektrik xassələrinin daha əlverişli vəhdətinə nail olmaq mümkündür.

Beləliklə, eksperimental tədqiqatlar əsasında sənaye şəraitində işləyən mövcud avadanlıqlarda titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintiləri və onlardan külçə, yumaq və məftillərin alınması imkanları təsdiq edilmişdir. Məqbul mexaniki və elektrik xassələrini təmin edən əritmə, tökmə, termiki və deformasiya emallarının rəasional rejimlərinin texnoloji parametrləri təyin edilmişdir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Sumqayıt Texnologiyaları Parkında mövcud sənaye avadanlıqlarını istifadə etməklə tərkibi sirkonium, titan, silisium və digər elementlə ayrıldıqda və birlikdə qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintiləri və bu ərintilərdən külçə və yayma məhsullarının istehsalı texnologiyası əsaslandırılmışdır. Təyin olunmuşdur ki, külçələrdə dendritvari kristallaşmanın qarşısını almaq üçün ərintiləri likvidus temperaturundan xeyli artıq qızdırmaq lazımdır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, alüminium əsaslı bərk məhlulun titanla qənaətlə legirlənməsi alüminium ərintisinin soyuq deformasiya zamanı məqbul texnolojiyini və aralıq tabalma aparmadan külçələrin yüksək deformasiya qabiliyyətini təmin edir.

3. Təyin olunmuşdur ki, alüminium ərintilərinin ilkin deformasiya halında möhkəmlik xassələri demək olar ki, legirləyicilərin miqdarından asılı deyildir. Külçələr tablanmaya uğradıldıqdan sonra əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verir: legirlənmiş ərintidən nümunələrin möhkəmlik xassələri xeyli artır. Müəyyən olunmuşdur ki, möhkəmlənmə deformasiya və termiki emal nəticəsində ərintidə xirda dispers və nanoölçülü strukturun formalaşması hesabına gedir.

4. Təyin olunmuşdur ki, ərintiyə azacıq miqdarda titanın verilməsi ilkin külçə halında ərintinin elektrik müqavimətini texniki alüminiumla müqayisədə bir qədər artırır, lakin tabalma aparmaqla müqavimətin azalmasına nail olmaq mümkündür. Elektrik müqavimətinin qiyməti, başlıca olaraq, alüminium əsaslı bərk məhlulda legirləyicilərin həllolması ilə əlaqədardır.

5. Elektrotexnika təyinatlı Al-Ti ərintilərinin optimal strukturunun alüminium matrisi fonunda minimal miqdarda titan və strukturda bərabər paylanmış kifayət qədər böyük miqdarda TiAl fazasının nanohissəciklərindən ibarət olması müəyyən edilmişdir.

6. Göstərilmişdir ki, titanla legirlənmiş ərintilərin möhkəmlik, elektrik müqaviməti və istiyə dözümlülük xassələrinin rəşional birliyinə deformasiya emalı zamanı aralıq tabalmadan ibarət olan texnoloji sxemi həyata keçirməklə nail olmaq mümkündür. Bu halda ərintiyə 0,3% titan vermək kifayət və məqsədəuyğun hesab edilmişdir.

7. Titanla qismən legirlənmiş alüminium ərintilərinin optimal strukturunun formalaşdırılması texnologiyası təklif olunmuşdur: 800°C-dən yuxarı tökmə temperaturunda külçənin alınması; tökmə külçədən çubuqların deformasiya etməklə (külçənin qızdırılma temperaturu 300-350°C) alınması; çubuğun 400-450°C intervalında tabalmaya uğradılması; tabəksidilmiş çubuqdan məftilin alınması; deformasiya möhkəmlənməsini qoruyub saxlamaqla məftilin 300-350°C-də tabalmaya uğradılması.

8. Sumqayıt Texnologiyalar Parkı şəraitində təcrübi əritmələr aparılmış və titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintisindən diametri 80 mm olan külçələr alınmışdır. Göstərilmişdir ki, strukturda TiAl ilkin kristallarının miqdarı xeyli dərəcədə legirleyicinin ərintiyə verilməsi üsulundan və əritmə texnologiyasından asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, təcrübi ərinti deformasiya emalı zamanı yüksək texnolojilik nümayiş etdirir, bu işə STP-də alüminium çubuq və məftillərin alınma texnologiyası və mövcud avadanlıqları səmərəli istifadə etməyə imkan verir.

9. Qənaətlə legirlənmiş təcrübi alüminium ərintisindən diametri 10 mm olan çubuqlar və 4,0 mm-lik məftillər hazırlanmış və müvafiq sınaqlara uğradılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, sınaq edilən elektrotexnika məhsulları müvafiq standartların tələblərinə tamamilə cavab verir.

10. Müxtəlif keçid qrupu metalları ilə qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintiləri və onlardan külçə, çubuq və məftillərin hazırlanma texnologiyası işlənmişdir. Əritmə, legirləmə, deformasiya və termiki emal rejimlərinin parametrləri ilə ərintinin kimyəvi tərkibi, strukturu və xassələri arasında qarşılıqlı əlaqələr müəyyən edilmişdir. Texniki və texnoloji işləmələrin həyata keçirilməsinə dair elmi əsaslandırılmış tövsiyələr Sumqayıt Texnologiyalar Parkına təqdim olunmuşdur.

**Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı elmi əsərlərdə dərc olunmuşdur:**

1. **Xəyal İbrahimov.** İstiyə dözümlü Al ərintilərinin yaradılmasına dair mülahizələr / Azərbaycan Texniki Universiteti, Beynəlxalq konfransın elmi əsərləri. Bakı, 2013, s. 24-26
2. **Xəyal İbrahimov.** Al-Zr ərintisindən alınan məmulatların təcrübi-sənaye sınaqlarının nəticələri // Nəzəri və tətbiqi mexanika, 2013, N3, s. 31-36
3. **Xəyal İbrahimov.** Alüminium ərintilərinin elektrik xassələrinə legirləyici elementlərin təsiri / Doktorant və gənc tədqiqatçıların XVIII respublika elmi konfransının materialları. Bakı, 2013, N1, s. 54-57
4. **Xəyal İbrahimov.** Al ərintilərindən külçələr istehsalının müasir vəziyyəti / Doktorant və gənc tədqiqatçıların “Azərbaycan 2020: neft-qaz sənayesinin inkişaf perspektivləri” adlı elmi-prktiki konfransın materialları. Bakı, 2013, s. 100-103
5. **Xəyal İbrahimov.** Al-Zr ərintilərinin deformasiya-termiki emal parametrlərinin mexaniki xassələrə təsiri // AzTU-nun Elmi əsərləri, 2013, N1, s. 27-30
6. **Arif Məmmədov, Xəyal İbrahimov.** Sirkoniumun konsentrasiyası, tökmə temperaturu və soyutma sürətinin alüminium külçələrinin strukturuna təsiri // Maşınşünaslıq, 2013, N3, s. 68-71
7. **Nizami İsmayılov, Xəyal İbrahimov.** Al-Fe-Si-Zr sistemi ərintilərinin mikrostrukturunu və faza tərkibi // ADDA-nın elmi əsərləri, 2014, N1, s. 10-13
8. **Emil Cəfərov, Xəyal İbrahimov.** Yükgötürücü elektrik naqillərinin tərkibi və xassələrinin qarşılıqlı əlaqəsi //AMEA-nın Gəncə bölməsi. Xəbərlər məcmuəsi, 2014 (55), s. 115-120
9. **Xəyal İbrahimov.** Structure and properties of effective Al-Si alloys for electronical purposes // Ukrayna Milli Texniki Universiteti, Elmi məcmuə, Lvov, 2014 (24-8), p. 196-201
10. **Arif Məmmədov, Xəyal İbrahimov.** Deformasiya-termiki emalın Al-Fe-Si-Zr sistemi ərintilərinin möhkəmlik xarakteristikalarına təsiri // Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, 2014, N6, s. 31-34

11. **Nizami İsmayılov, Xəyal İbrahimov.** İstiliyə dözümlü ərintilərə dair tədqiqatların nəticələrinin tətbiqi üzrə tövsiyələrin işlənməsi // AMEA-nın Gəncə bölməsi. Xəbərlər məcmuəsi, 2015 (59), s. 147-151
12. **Xəyal İbrahimov.** Alüminium yumağının külçələrdən alınmasının bəzi xüsusiyyətləri // ADDA-nın Elmi əsərləri, 2015, N1, s. 14-17
13. **Xəyal İbrahimov.** İstiyədözümlü alüminium ərintisindən külçələr istehsalı / Beynəlxalq konfransın materialları. Bakı, AzTU, 2016, s. 413-415
14. **Xəyal İbrahimov.** Titanla qənaətlə legirlənmiş alüminium ərintilərinin tərkib və xassələri / “Gənclər və elmi innovasiyalar” respublika konfransının materialları. Bakı, AzTU, 2017, 3s.
15. **Xəyal İbrahimov.** Dünyada alüminium ərintiləri istehsalının vəziyyəti və yeni meyillər / “Gənclər və elmi innovasiyalar” respublika konfransının materialları. Bakı, AzTU, 2017, 3s.
16. **Н.Ш.Исмаилов, Х.А.Ибрагимов.** Разработка малолегированного алюминиего сплава для электротехнических изделий // Успехи современной науки, № 6, 2017, 6с.
17. **Н.Ш.Исмаилов, Х.А.Ибрагимов.** Экономнолегированный с титаном алюминиевый сплав электротехнического назначения / Материалы международной конференции. Киев, 2017, 5с.
18. **Х.Ə.İbrahimov, N.Ş.İsmayılov, Ə.Ə.Əyyubov.** Al-Ti ərintilərinin emal rejimləri və fiziki-mexaniki xassələri / Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri. 2-ci beynəlxalq elmi texniki konfransın materialları, Bakı, AzTU, 2017, s. 237-239
19. **Х.А.Ибрагимов, Н.Ш.Исмаилов.** Разработка экономнолегированного алюминиего сплава электротехнического назначения // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 2, 2018, 15с. *(на англ. входит в базу Скорпусе)*

**Çap olunmuş elmi işlərdə iddiaçının şəxsi iştirakı:** 1-5, 9,12-15 sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir. 6-8, 10, 11 və 16,17,18 sayılı işlər müəlliflər tərəfindən müştərək yeinə yetirilmişdir.

**Хаяль Алиша оглы Ибрагимов**

**Разработка алюминиевого сплава электротехнического назначения частичнолегированного титаном**

Целью работы является разработка электротехнического алюминиевого сплава малолегированного титаном, обладающего высокой прочностью и термостойкостью. **Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи. Сформулированы научная новизна и практическая ценность работы. **В первой главе** проведен обзор литературных и производственных источников по алюминиевым сплавам электротехнического назначения.

**Во второй главе** представлены предложения по выбору и обоснованию объектов и предметов, методов и средств, а также приборов и оборудования, которые использованы при экспериментальных исследованиях. **В третьей главе** изучены влияния количества титана и температуры заливки на структуру и свойства алюминиевого экономно-легированного сплава. Приведены результаты сравнительных исследований слитков и проволок из опытного и серийного алюминиевых сплавов.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию режимов и параметров деформационной и термической обработки на механические и электрические свойства Ал-Ти сплавов. **В пятой главе** представлены результаты опытных и промышленных испытаний алюминиевых сплавов для изготовления изделий электротехнического назначения.

**Khayal Alisha oglu Ibrahimov**

**Development of thermal resistant aluminium alloy for electrical bars**

The tesis work is dedicated to development of thermal resistant aluminium alloy for electrical bars. The purpose of the work is development of aluminium alloy doped with high thermal resistant titanium. Timeliness of the topic and possibility of conducting researches on this field, and definition of the goal and the tasks have been grounded in **the introduction**. Scientific novelty and practical value of the work have been summarised in this thesis as well.

Review of literature references and production sources on aluminium alloys for electro-technical purposes of specified strength, little electrical and thermal resistance were discussed in **chapter 1**. **Chapter 2** describes suggestions on choosing and grounding objects and subjects, methods and means, as well as fittings and devices under the experiments.

Influence of zirconium amount and temperature of the alloy on the structure and properties of aluminium alloy doped with zirconium were studied in **chapter 3**. The results of the comparative research of ingots and wires of experimental and commercial aluminium have been quoted here. **Chapter 4** reports of the experimental researches results on mode impact of deformation processing and thermal treatment to mechanical and electrical properties of Al-Ti alloys.

**Chapter 5** presents the experimental and commercial researches' results of aluminium alloys for manufacturing of electro-technical goods.

*На правах рукописи*

**ХАЯЛЬ АЛИША оглы ИБРАГИМОВ**

**РАЗРАБОТКА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
ЧАСТИЧНОЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОМ**

3315.01 –Технология металлургии

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по технике

Научный руководитель:

д.т.н., проф. Исмаилов Н.Ш.

**БАКУ-2018**