### AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

### (Fe-Ni)<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub> (M=Si, B) AMORF ƏRİNTİLƏRİN QURULUŞU VƏ MAQNİT XASSƏLƏRİNƏ TERMİKİ EMALIN TƏSİRİ

İxtisas: 2211.01 – Bərk cisimlər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: Nurlan Mərhəmət oğlu Rəfiyev

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### AVTOREFERATI

BAKI -2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Fizika və Kimya kafedrası nəzdindəki Metal və ərintilər fizikası Elmi tədqiqat laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor Tahir Musa oğlu Pənahov

Rəsmi opponentlər:



fizika elmləri doktoru, dosent İzzət Məmməd qızı Əfəndiyeva

fizika elmləri doktoru, dosent Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent Arzu Oruc oğlu Daşdəmirov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

Fizika elmləri doktoru, dosent Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva

Elmi seminarın sədri:

BAKa CAN Lati do Sədiyar Soltan oğlu Rəhimoy BD SCIENTIFIC SEC 20 2.

### İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

aktuallığı və işlənmə Mövzunun dərəcəsi: Elektrik enerjisinin ötürülməsi zamanı güc itkilərinin minimuma endirilməsi problemi bütün dövrlər üçün ən əhəmiyyətli məsələ olaraq qalmaqdadır. Son dövrlərdə askar olunan amorf guruluslu metallik materialların enerji daşıyıcı qurğuların ənənəvi maqnit materiallarını əvəz etməsi imkanlarının araşdırılması çox əhəmiyyətli nəticələr verməkdədir. Belə materialların istifadəsi zamanı enerji itkilərinin azalması və faydalı iqtisadi şərtlərin olması, bu materialların istifadəsini aktuallaşdırır. sənayedə kütləvi Proseslarin sürətləndirilməsi üçün tətbiqlərin praktiki islənməsi vacib məsələlərdən biri hesab olunur. Amorf-metallik ərintilərdən (AMƏ) veni texnoloji materiallar kimi elektron və elektrotexniki sənayedə istifadə olunmağa başlanmış və bu iş sürətlə davam etməkdədir. Belə ki, bu materialların maqnit xassələri böyük maraq doğurur. Amorf quruluşunda maqnit nizamlılığın olması xüsusilə gözlənilməz hal kimi qəbul edilmişdir. Bu materiallar kristallik analoqlarından venidən maqnitlənmədə itkilərin az, doyma maqnit induksiyasının əlverişli qiyməti və böyük xüsusi elektrik müqavimətinin olması ilə fərqlənirlər. Bu xassələrin olması AMƏ-in elektronika və elektrotexnika sənayesinin müxtəlif sahələrində tətbiq olunmasına şərait yaradır.

Amorf maddələrin maqnit xassələri onların quruluşu və kimyəvi tərkibi ilə sıx bağlıdır. Əlverişli maqnit xassələrinin əldə polikristallik qurulusun oluması ücün onlar varanma temperaturundan, Küri temperaturundan yuxarı və ya asağı temperaturda termomaqnit və termomexaniki emala uğradılır. Termomaqnit və termomexaniki təsirlərdən sonra bu maddələr böyük praktiki əhəmiyyəti olan yeni xassələr qazanır. Bu təsirlər, anizotropluğun xarakterinin dəyişməsi kimi yeni fiziki xassələrin yaranmasına səbəb olur. Məlumdur ki, ərintinin stabilliyi yalnız termiki emalın optimal rejimlərindən və kimyəvi tərkibdən deyil, bir çox digər faktorlardan, məsələn alınma mühitindən, sintez olunan materialların keyfiyyətindən, nümunənin həndəsi ölçülərindən və s.

asılıdır. AMƏ-in maqnit xassələrinin öyrənilməsi ilə bağlı çoxlu sayda tədqiqatların aparılmasına baxmayaraq hələ də yeni xassəli amorf materiallar kəşf olunmaqda davam edir. Belə ki, bu maddələrdə kimyəvi tərkibin və emal mühitinin kicik dəyismələri fiziki xassələrin də müəyyən dəyişikliklərinə gətirib çıxarır. Buna görə də materiallara kompleks emal rejimlərinin tətbiqi məsələsi aktual olaraq qalır. Eyni zamanda dörd qat sistemlərin amorf quruluşda alınması və kompleks tədqiqi vacib məsələlərdən sayılır. Həmçinin, bu materiallar kristallik analoqlarından fərqli xassələrə malik olmaları nəticəsində elektrik enerjisinin istehsalı və ötürülməsi qurğularının elementləri olaraq qismən tətbiq olunsa da bu sahə tam olaraq əhatə olunmamışdır. Təqdim olunan dissertasiya isində dörd qat sistemlərin amorf quruluşda xüsusi üsulla alınması islənib hazırlanmış, AMƏ-in fiziki, mexaniki, xüsusən də maqnit xassələrinə, mexaniki, termomexaniki, magnit, termomagnit emal üsullarının ayrı ayrılıqda və kompleks təsiri öyrənilmiş, prototip nümunələr hazırlanmış, sənaye sınaqları aparılmışdır.

**Tədqiqatın obyekti və predmeti:** Tədqiqatın obyekti (Fe-Ni)<sub>1-</sub> <sub>x</sub> $M_x$  (M=Si, B) əsaslı Fe<sub>29</sub>Ni<sub>49</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli amorf quruluşlu ərintilərdir. Tədqiqatın predmeti olaraq müxtəlif emal rejimlərinin təsirindən sonra bu nümunələrin quruluşunda baş verən çevrilmələr və histerezis maqnit xassələri öyrənilmişdir.

**Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri:** Dissertasiya işinin məqsədi maye fazadan kəskin soyudulma metodu ilə alınan amorf quruluşlu (Fe-Ni)<sub>1-x</sub>  $M_x$  (M=Si, B) tərkibli təbəqələrdə müxtəlif emal üsullarının təsiri nəticəsində quruluş və maqnit xassələrində baş verən dəyişmələri tədqiq etmək və onların praktiki tətbiq imkanlarını araşdırmaqdan ibarətdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı məsələlərin həlli qoyulmuşdur:

1. Amorf quruluşda nümunələr almaq üçün maye haldan kəskin soyutma qurğusu hazırlamaq və qurğuda təkmilləşdirilmiş soyutma sistemi qurmaq, (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si, B) tərkibdə amorf quruluşlu

nümunələri almaq üçün optimal şərtləri müəyyənləşdirmək, onları sintez etmək;

2. (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si,B) tərkibli amorf nümunələrdə müxtəlif emal proseslərinin təsiri ilə amorf haldan polikristallik fazaların yaranmasının kinetikasını və faza tərkibini müəyyənləşdirmək, onların termiki stabilliyini araşdırmaq;

3. Amorf metallik materialların amorf quruluşuna deformasiya yolu ilə emalın və eləcə də yaymada mexaniki gərginliyin təsirini öyrənmək, belə emalın nümunələrin maqnit xassələrinə təsirini aşkara çıxarmaq;

4. Amorf təbəqələrin alınması prosesi zamanı onların səth quruluşunu öyrənmək, alınma üsulunun, lentin soyuducu ilə təmas edən və təmas etməyən tərəflərinə təsirini aşkar etmək;

5. Amorf haldan polikristallitlərin yaranmasının histerezis maqnit xarakteristikalarının formalaşmasına təsirini araşdırmaq, bu zaman nümunə daxilində yaranan anizotropiyaların növlərini müəyyən etmək;

6. (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si,B) tərkibli amorf ərintilərin maqnit sahəsində emalının onların histerezis maqnit xassələrinə təsirini öyrənmək, müxtəlif funksional təyinatı olan materialların əldə olunmasını nəzərdən keçirmək, bunun əsasında termoemalın keçirilməsinə aid praktiki təkliflər vermək;

7. Maye haldan kəskin soyutma üsulu ilə əldə edilən, termiki və termomaqnit üsullarla emal olunmuş (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si,B) tərkibli nümunələrin elektromaqnit kontaktorlarda tətbiqi imkanlarını araşdırmaq.

**Tədqiqat metodları:** İşin gedişində amorf quruluşda nümunələr almaq üçün yeni soyuma sistemi qurulmuş maye haldan kəskin soyutma qurğusu hazırlanmışdır. Bundan başqa nümunələr üzərində tədqiqat işləri apararkən aşağıdakı metodlardan istifadə edilmişdir. Nümunələrin sintezi üçün УПИ-60-2 markalı induksiya üsulu ilə əritmə üsulu, Shimadzu XRD 6000 difraktometrindən istifadə etməklə rentgenquruluş tədqiqat metodu, DSC/60-60A diferensial kalorimetriya cihazından istifadə etməklə diferensial skanedici kalorimetr analiz üsulu, Hitachi S-3400N cihazı ilə

skanedici elektron mikroskop təsvirlərin alınması metodu, EZ-VSM markalı vibrasiyalı nümunə maqnitometri vasitəsi ilə maqnit parametrlərinin ölçülməsi üsulu, səthinin təsvirlərini əldə etmək üçün atom qüvvə mikroskopu vasitəsi ilə lentlərin səth təsvirlərinin alınması, AL-CEK-21P markalı dartqı maşını ilə mexaniki xassələrin tədqiqat metodu, "AHP Carbon content tester" elektrik sobası ilə termiki emal üsulu, EZM 50 markalı yayma qurğusundan istifadə etməklə yayma ilə mexaniki emal üsulu, Mikro-Ommetr MICO-21 cihazı vasitəsi ilə xüsusi elektrik müqavimətinin təyini üsulu.

#### Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Maye fazadan kəskin soyudulma metodu ilə amorf quruluşda (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si, B) materiallarının alınması imkanları, və alınma şərtlərinin müəyyən edilməsi;

2.  $(Fe-Ni)_{1-x}M_x$  (M=Si, B) amorf quruluşlu ərintilərində termiki emal zamanı istilik təsirlərindən sonra polikristallitlərin yaranmasının mexanizmi və bu prosesin amorf halın stabilliyinə təsirinin qanunauyğunluqları;

3. Mexaniki üsulla emal olunmanın amorf nümunələrdə baş verən quruluş dəyişmələri və bu dəyişmələr ilə maqnit xassələri arasındakı qanunauyğunluqlar;

4. Alınma prosesi zamanı amorf təbəqələrin səth vəziyyətinin polikristallik fazaların yaranması prosesinə təsirinin mümkünlüyü;

5. (Fe-Ni)<sub>1-x</sub> $M_x$  (M=Si, B) amorf quruluşlu nümunələrin maqnit sahəsində emal olunma prosesinin nümunələrdə müxtəlif növ anizotropiyaların yaranması prosesindəki rolu;

6. Maqnit sahəsində emalın nümunələrin histerezis maqnit xassələrinə təsirinin mexanizmləri, texniki istismar zamanı nümunələrin maqnit xassələrinə mexaniki təsirlərin olmasının mümkünlüyü;

7. Amorf təbəqələrdən kontaktor içliklərinin hazırlanma imkanlarının mümkünlüyü.

### Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir: Birinci olaraq:

- Ərintilərin amorf quruluşda alınması üçün yeni soyutma sistemi olan maye haldan kəskin soyutma qurğusu hazırlanmışdır;

- Nümunələrdə polikristallitlərin yaranmasının ikili mexanizmlə baş verdiyi müəyyən edilmiş, yenidən kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi hesablanmış, hər 4 nümunənin termiki stabil olması göstərilmişdir;

-  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  tərkibli amorf ərintidə maksimal maqnit induksiyasının ən böyük qiyməti deformasiya ilə təsir edildikdən sonra 10 E uzununa maqnit sahəsində termiki emal olunma zamanı əldə olunmuşdur;

- Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli ərintidə ən kiçik qalıq maqnit induksiyası (0,002-0,004 Tl) 513 K temperaturda 40 dəq saxlanmaqla və sobada soyudulmaqla əldə olunmuşdur;

Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli ərintidə burulğanlı sahələrdə itkinin ən aşağı
0,4 Vt/kq olması müəyyən edilmişdir;

- Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli lentlərdən kontaktor cihazlarında istifadə olunmaq üçün içliklər hazırlanmışdır;

- Burulğanlı sahələrdə daha aşağı güc itkilərinə və daha uzun istismar müddətinə malik kontaktor hazırlanmış və sənaye sınaqları aparılmışdır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:** 0,75-1,25 MPa təzyiq altında mexaniki yaymadan və 10 E maqnit sahəsində 623 Kdə 40 dəq saxlamaqla və sobada soyudulmaqla termiki emaldan sonra 30-40 nm tərtibli dənə ölçülərinə malik olan  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$ ərintisində koresitiv qüvvəsinin qiyməti H<sub>c</sub>=20-30 A/m, maksimal maqnit induksiyası B<sub>m</sub>=1,0-1,1 Tl, qalıq maqnit induksiyası B<sub>r</sub>=0,002-0,004 Tl və xüsusi elektrik müqaviməti  $\rho$ =127-130 mkOm cm olan materiallar əldə edilmişdir.

Alınmış materiallar sınaq üçün Sassin şirkətinin istehsalı və zavod resursu 4950 dəfə qoşulma olan 3SC8-A122 markalı analoq kontaktor cihazında istifadə olunub. Bu kontaktorun elektrotexniki poladdan olan içliyini, dissertasiya işində öyrənilən Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> amorf lentlərdən hazırlanmış içliklə əvəz etməklə aparılan yoxlama sınaqları nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, amorf lentlərdən hazırlanan içliklərin tətbiqi nəticəsində kontaktorun içliyinin burulğanlı sahələrə olan itkisi 1,5 dəfə azalmış, iş resursu 7-8 % artmışdır. Sınaqların sonunda kontaktorun birləşən hissələrində korroziya və zədə izləri aşkar edilməmişdir.

Aprobasiyası və tətbiqi: Dissertasiya işinin əsas nəticələri Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII Respublika elmi (2013. Bakı. materiallarında Azərbaycan), konfransının metalsünaslığın problemləri» I «Metallurgiya beynəlxalq və konfransı materiallarında (2014, Bakı, Azərbaycan), Fizikanın problemləri VIII-ci Respublika müasir elmi konfransının materiallarında (2014, Bakı, Azərbaycan), Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX Respublika elmi konfransının materiallarında (2015, Bakı, Azərbaycan), Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX elmi konfransının materiallarında Respublika (2016. Bakı. Azərbaycan), «Metallar fizikasının müasir problemləri» Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans materiallarında (2016, Bakı, Azərbaycan), Магнитные фазовые переходы, XII международного семинара, (2017, Махачкала, Россия), Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin yaranmasının 100 illiyinə həsr olunmuş professor-müəllim heyətinin, doktorantların və gənc tədqiqatçıların beynəlxalq elmi konfransının materiallarında (2018, Bakı, Azərbaycan), «Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası», Beynəlxalq konfrans materiallarında (2015, Bakı, Azərbaycan), Fizikanın aktual problemləri Respublika elmi konfransı materiallarında (2015, Bakı, ərintilərin Azərbaycan), "Magnityumşaq informasiya texnologivalarında və hərbi sənayedə tətbiqi perspektləri" Beynəlxalq elmi praktiki konfrans materiallarında (2019, Bakı, Azərbaycan), və Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Univerisitetinin Fizika və Kimya kafedrasının elmi seminarlarında məruzə və müzakirə edilmişdir.

Alınmış nümunələrdən hazırlanmış içliklər elektrik dövrələrinin fasiləsiz rejimdə nominal yük cərəyanı altında qoşulub açılması funksiyasını yerinə yetirən kontaktorlarda tətbiq edilmiş, sənaye sınaqları aparılmışdır. Həmçinin bu materiallar transformatorların, şunt reaktorlarının içlikləri və mühərriklərin, generatorların maqnit elementləri kimi də tətbiq edilə bilər.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Fizika və Kimya

kafedrasının nəzdində Metal və ərintilərin fizikası Elmi Tədqiqat Laboratoriyası.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi: Dissertasiya işi kompüter mətni həcmində 176 səhifədən, cədvəllər, şəkillər, ədəbiyyat siyahısı, şərti işarələr istisna olmaqla 207283 işarə, Giriş 14170 işarə, I fəsil 92778 işarə, II fəsil 22558 işarə, III fəsil 27719 işarə, IV fəsil 47177 işarə, nəticə 2881 işarədən ibarət olub, 14 cədvəl, 74 şəkil və 240 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

### İŞİN QISA MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və işin məqsədinə uyğun olaraq həll olunacaq məsələlər göstərilmişdir. Burada həmçinin, təcrübələr zamanı alınmış nəticələrin, nəzəri və təcrübi işlərin mövcud nəzəriyyələr əsasında qısa xülasəsi verilmiş və müdafiəyə təqdim olunan əsas müddəalar ifadə olunmuşdur.

fəsildə AMƏ-ə aid toplanmış məlumatlar əsasında Ι ədəbiyyat icmalı verilmişdir. Ədəbiyyat icmalında amorf metalların kəşf olunduğu gündən hal-hazır ki, dövürə qədər inkişaf mərhələləri ayrı-ayrılıqda təhlil olunmuş, kompüter modelləşmələri, Monte Karlo simulyasiyası, Əks Monte Karlo simulyasiyası, Ab İnitio Molekulyar Dinamika simulyasiyası və Molekulyar dinamika simulyasiyası kimi kompüter simulyasiyalarına və təcrübələrə əsaslanaraq amorf ərintilər üçün təklif edilmiş struktur modelləri xronoloji ardıcıllıqla olunmuşdur. Həmçinin ədəbiyat araşdırmalarında sərh amorf ərintilərin emalının təcürbi rejimlərinin son məlumatlarnın icmalı və nümunələrin sintezi üçün mövcud olan üsulların təhlil verilmiş, amorf metal ərintilərnin və fiziki xassələrinə görə onlara yaxın kristal analoq materialların müqaisəsi aparılmış, amorf quruluşlu materialların maqnit xassələrinin tədqiqi istiqamətdində görülmüş işlərin müasir vəziyyəti qeyd olunmuşdur.

II fəsildə laboratoriya şəraitində  $Fe_{29}Ni_{59}Si_9B_{13}$ ,  $Fe_{39}Ni_{39}Si_9B_{13}$   $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$ ,  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  tərkiblərində olmaqla alınmış lent şəklində amorf metallik ərintilərin tədqiqinə həsr

olunmuşdur (Cədvəl 1). Ərintilərin tərkibdə Bor amorflaşdırıcı element, Silisium isə termiki davamlılığı təmin edən element kimi istifadə olunmuşdur. Fe və Ni tərkibinin müxtəlif nisbətlərdə dəvisdirilməsində məqsəd daha əlverisli optimal və xassəli materiallar oblastini təyin etmək olmuşdur. Sürətli səkildə soyudulmus müxtəlif Fe və Ni tərkibli metal ərinti nümunələrinin tərkibi və quruluşu XRD sınaq üsulu ilə analiz olunmuşdur. Amorf fazalarının təyini üçün Shimadzu ərintilərin XRD 6000 difraktometrində 40 kV və 30 mA-də mis radiasiyasından (CuKa1=1,54056 Oe) istifadə edilmişdir. Radiasiyasının K<sub>B</sub> şüalanması grafit monoxromatoru ilə ləğv edilmişdir.

İşdə tədqiq olunacaq amorf quruluşlu nümunələr maye haldan yüksək sürətlə souytmaqla xüsusi qurğuda alınmışdır. Qurğu tədqiqat prosesində hazırlanmışdır [1, s. 73-74]. Amorf lenti almaq üçün istilikkeçirmə əmsalı daha böyük olan materiallar tələb olunur.

Ərintilər	Fe, %	Ni, %	Si,%	B, %
Fe <sub>59</sub> Ni <sub>19</sub> Si <sub>9</sub> B <sub>13</sub>	29	59	9	13
Fe49Ni29Si9B13	39	49	9	13
Fe39Ni39Si9B13	49	39	9	13
$Fe_{29}Ni_{59}Si_{9}B_{13}$	59	29	9	13

Cədvəl 1. Ərintilərin kimyəvi tərkibi kütlə payı ilə

Bunun üçün əlverişli material kimi misdən istifadə olunmuşdur [2, s. 82-83]. Şəkil 1- də maye haldan kəskin soyutma üsulu ilə amorf qururluşlu lentləri almaq üçün hazırlanmş qurğunun soyuducusunun sxemi göstərilmişdir. Qurğunun kənar ölçüləri 339x296mm, barabanın eni 110mm, diametri 250mm təşkil etmişdir. Amorf lenti almaq üçün istifadə olunan qurğuda ilk olaraq soyuducu baraban hazırlanmışdır. Bunun üçün diametri 250 mm, divarının qalınlığı 8-10 mm olan mis borudan istifadə olunmuşdur. [3, s. 306-307]. Bu işdə amorf lentlərin alınması qurğusu analoqlarından onunla fərqlənmişdir ki, soyuducu barabanın iç səthini davamlı olaraq

soyutmaq üçün qurğuda bir-birinə əks istiqamətdə firlanan, yeyilməyə davamlı keramik disklərdən istifadə olunmuşdur.



Şəkil 1. Soyuducu barabanın sxemi

Nəticədə fırlanan barabanı soyutmaq üçün istifadə olunan su fasiləsiz olaraq barabanın daxili səthini soyuda sonra isə digər istiqamətdən xaric oluna bilir. Belə ki, keramik materiallardan hazırlanmış disklər bir-birinə toxunaraq əks istiqamətdə fırlanan zaman su sızmasının qarşısını alır. Müxtəlif emal proseslərindən sonra mis diskin səthi cilalanmış və pardaxlanmışdır. Bu isə lentlərin keyfiyyətli alınması üçün əsas şərtlərdən biridir. Proses vaxtı su soyuducularından istifadə etməklə suyun temperaturunun 3-5 °C olması təmin olunmuşdur. Baraban qayış ötürməsi ilə elektrik mühərrikinə birləşdirilmişdir. Mühərrikin üzərində quraşdırılmış sürət tənzimləyicisi (inventor) vasitəsilə mühərrikin sürətini idarə edərək barabana müxtəlif fırlanma sürətləri verilmişdir. Kritik soyuma sürətinin qiymətini hesablamaq üçün müəlliflərin təklif etdiyi düsturdan istifadə olunmuşdur<sup>1</sup>.

$$|R_{c}| = \frac{\alpha \frac{C_{p2}k_{2}\rho_{2}}{4\pi C_{p1}k_{1}\rho_{1}} \left(-T_{1} + \frac{k_{1}\sqrt{\alpha_{2}}T_{1} + k_{2}\sqrt{\alpha_{1}}T_{2}}{k_{1}\sqrt{\alpha_{2}} + k_{2}\sqrt{\alpha_{1}}}\right)}{2t^{2}\pi^{2} \left(\frac{C_{p1}k_{1}\rho_{1}}{C_{p2}k_{2}\rho_{2}}\right)}$$
(1)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Guo S., Yong L. Estimation of critical cooling rates for formation of amorphous alloys from critical sizes // Journal of Non-Crystalline Solids, - 2012, 358(2012) - p. 2753–2758.

Burada  $T_1$  və  $T_2$  uyğun olaraq maye metalın və mis soyuducunun temperaturları,  $k_1$  və  $k_2$  müvafiq olaraq maye metalın və mis soyuducunun istilikkeçirmə əmsalı,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ , maye metal və misin sıxlığı,  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  maye metalda və mis soyuducuda istiliyin termal yayılma sürəti, t lentin qalınlığıdır. (1) Düsturu mürəkkəb görünsə də əslində bu düstura daxil olan parametrlər ilk sınaq prosesindən və ədəbiyyat məlumatlarından asanlıqla tapılır. Göstərilən parametrlər cədvəl 2-də verilmişdir.

Soyuducunun fırlanma tezliyini dəyişməklə kritik soyuma sürəti üçün  $10^5$  -  $10^6$  K/san qiymətlər əldə olunmuşdur. Belə kritik soyuma sürəti qalınlığı 30-50 mkm olan amorf quruluşlu təbəqələrin əldə olunmasına imkan vermişdir [13, s. 137-142].

3-5 14-50 526 385	$\begin{array}{c} T_{1,} \ ^{\circ}C \\ T_{2,} \ ^{\circ}C \\ \\ C_{p1}, \ C/kq \ ^{\circ}C \\ \\ C_{p2}, \ C/kq \ ^{\circ}C \end{array}$
7200	p1, kq/m <sup>3</sup>
8960	ρ2, kq/m <sup>3</sup>
4x 10 <sup>-6</sup>	$\alpha_1, m^2/san$
1,1x 10 <sup>-4</sup>	$\alpha_2, m^2/san$
589	k <sub>1</sub> , Vt/m °C
398	k2, Vt/m °C

Cədvəl 2.	Kritik	soyuma	sürətinin	hesablanmasının	bəzi
parametrləri					

Bu işdə soyuducunun fırlanma tezliyi 2000-2500 döv/dəq olmuşdur [6, s 21-23]. Əvvəlcədən xüsusi şəraitdə, təsirsiz qaz mühitində sintez olunmuş Fe<sub>29</sub>Ni<sub>59</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli metal ərintilər УПИ-60-2 markalı induksiya sobasında əridilmişdir. Soba soyuducu barabanın üzərində yerləşdirilmiş və qızdırıcı hissəsində oda davamlı tigel asqı vasitəsilə barabanın üzərinə bərkidilmişdir. Soba metalı əritməyə başladığı zaman asqı tigeli barabana yaxınlaşdırır, mühərrik işə salınır və maye metal tigelin altındakı kiçik yarıqlardan sürətlə fırlanan soyuducu mis barabanın üzərinə axır. Metal şırnağı mis barabana dəyərək çox böyük sürətlə bərkiyir (Şəkil 2). Belə laminar axın sabit qalınlığda bircins lentlərin alınmasına imkan verir. Soyuducu barabanın sürətini idarə etməklə tədqiqat məqsədi üçün 30-50 mkm qalınlığlı amorf lentlər alınmışdır.



Şəkil 2. Amorf strukturlu lentlərin alınma qurğusu: a-yüksək temperaturda; b-aşağı temperaturda.

Mexaniki xassələri tədqiq etmək üçün AL-CEK-21P markalı dartqı sınaq maşınından və EZM 50 markalı yayma qurğusundan istifadə edilmişdir. 20 kN gücə malik AL-CEK-21P dartqı sınağı maşınında nümunələr xüsusi tutqaclar vasitəsi ilə tutaraq, yüksək dəqiqliklə deformasiya sınaqları aparılmışdır. Maqnit xassələrini tədqiq etmək üçün EZ-VSM markalı vibrasivalı nümunə magnitometrindən olunmuşdur. istifadə Histerezis ilgəyi parametrlərinin ölçülməsi otaq temperaturunda -25000<H<25000E sahədə aparılmışdır. Nümunələrin termiki emal proseslərini yerinə yetirmək üçün yüksək həssaslığa malik xromel-alümel termocütləri ilə təchiz edilmiş "AHP carbon content tester" markalı qızdırıcı elektrik sobasından istifadə olunmuşdur.

III fəsildə tədqiq olunan amorf quruluşlu materialların polikristal fazaya keçid prosesinin təcrübi nəticələri verilmişdir. Həmçinin, bu bölmədə AMƏ-də amorf fazadan polikristallitlərin genis temperatur – zaman intervalında varanmasının əsas qanunauyğunluqlarına baxılmış və əmələ gələn fazaların müqayisəsi aparılmısdır. Emal prosesində amorf haldan kristal hala keçidin kinetikası Diferensial skanedici kalorimetr (DSK) və X işığın difraksiyası (XRD) metodları ilə formal kinetikanın müddəaları əsasında, Mel-Cons-Avrami-Kolmogorov (MJAK) və Arrenius tənliklərinin köməyi ilə təhlil edilmişdir. Nümunələrin ilkin rentgen quruluş təhlili göstərmişdir ki, nümunələr amorf quruluşdadır. Bu səbəbdən rentgen süalarının difraksiyasına əsaslanan bu üsulda kristallik zirvələr müşahidə olunmur, atom və faza tərkibinin təyini çox çətindir və nümunələrdə güclü udulma müşahidə olunur. Beləliklə ərintinin amorf təbiəti Şəkil 3-də göstərilən rentgen şüalarının difraksiyası ilə təsdiqlənir.



Şəkil 3. Nümunələrin rentgenquruluş spektrləri: 1- Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 2- Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 3- Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 4- Fe<sub>29</sub>Ni<sub>49</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>.

Belə ki, hər dörd ərintidə heç bir kristallik zirvələrin müşahidə olunmadığı görünür.

Şəkil 4-də hər 4 nümunənin DSK əyriləri təsvir edilmişdir. Göründüyü kimi fərqli tərkibə malik amorf ərintilərdə üst-üstə düşən eksotermik zirvələr vardır. Əyrilərin təhlilindən Fe<sub>29</sub>Ni<sub>49</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisinin DSK spektrində 550-600 K aralığında yalnız bir makimum aşkar olunur. Digər 3 ərininin DSK spektrində isə 600 -700 K aralığında müşahidə olunan əsas maksimumla yanaşı 500-550 K aralığında əlavə kiçik zirvələr də müəyyən olunur. Bu da nümunələrdə polikristallitlərin yaranmasının iki mərhələli olduğunu deməyə əsas verir. Alınan məlumatlara əsasən materialları iki qrupa bölmək olar: 1) polikristalların yaranmasının bir mərhələli getdiyi və 2) iki mərhələli getdiyi materiallar. Bu hal dəmirin miqdarının az olduğu nümunədə (Fe<39%) bir zirvə ilə, dəmirin miqdarının çox olduqu nümunələr üçün isə (Fe>39%) iki zirvə ilə müşahidə olunmuşdur.



Şəkil 4. 1-ci və 2-ci qrup ərintilər üçün DSK-dan alınan tiZirvə əyrilər: 1-Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 2- Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 3- Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>; 4- Fe<sub>19</sub>Ni<sub>59</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>;  $T_x$  –endotermik;  $T_p$  -ekzotermik Zirvələrdir.

DSK əyrilərində zirvələrə aid olan temperatur oblastlarında nümunələrin XRD analizləri aparılmışdır. Bu zaman hər iki zirvəyə

uyğun gələn oblastlarda nümunənin faza tərkibi təyin olunmuşdur. 513 K temperaturda 40 dəq saxlamaq və soba ilə birlikdə soyutmaqla rentgenstruktur emaldan materialların termiki sonra analizi göstərmişdir kristallasmanın ki. birinci mərhələsində Fe-Si kristallitləri ayrılmışdır. Bundan sonrakı mərhələnin başlanğıcına qədər amorf faza tədricən dəyişmiş, polikristalların yaranması ikinci mərhələdə FeSi və FeSi+(Fe, Ni, M) (M=Si, B) birləşmələrinin eyni anda ayrılması ilə müşahidə olunmuşdur (Şəkil 5). Beləliklə müəyyən edilmişdir ki, materialların amorf fazadan polikristal fazava keçidi bir istiqamətdə baş verir və iki Fe-Si və Fe-Si +(Fe, Ni, M) (M= Si, B) fazalarının əmələ gəlməsi ilə yekunlaşır. [15, s. 161-165].



# Şəkil 5. Termiki emaldan sonra hər iki qrup nümunələrin XRD spektri

Şəkil 6 və Şəkil 7-də sadə və yarımloqarifmik koordinatlarda baslanma polikristallitlərin yaranmasının zamanının tab alma temperaturundan asılılığı verilmisdir. Hər dörd ərintidə polikristallitlərin başlanma yaranmasının vaxtının emal temperaturunun artması ilə sürətlə azaldığı müəyyən olunur (Şəkil 6, a və 7, a).



Şəkil 6. Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, və Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintilərində yenidən kristallaşma prosesinin başlanma zamanının tab alma temperaturundan asılılığı: a) sadə koordinatlarda; b) MJAK kordinatlarında, 1- Fe<sub>39</sub>Ni<sub>39</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, 2- Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>.



Şəkil 7. Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> və Fe<sub>29</sub>Ni<sub>59</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintilərində yenidən kristallaşma prosesinin başlanma zamanının tab alma temperaturundan asılılığı: a) sadə koordinatlarda; b) MJAK kordinatlarında 1- Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>, 2- Fe<sub>29</sub>Ni<sub>59</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub>.

Yarımloqarifmik koordinatlarda əyrilərin düz xətli olması aydın görünür (Şəkil 6, b və 7, b). Bu onu göstərir ki, tədqiq olunan materialda izotermik şəraitdə yenidən kristallaşma və bu prosesin əvvəlinə qədər baş verən proseslər MJAK (2) tənliyinin köməyi ilə öyrənilə bilər.

$$Ln[-\ln(1-x)] = \ln k - n \ln t$$
 (2)

Burada x-çevrilmə dərəcəsi, n- avrami əmsalı, k- kristallaşma prosesinin reaksiya sürəti əmsalı, t-zamandır. Avrami əmsalı çevrilmə dərəcəsi-zaman qrafikinin meylindən hesablanlır<sup>2</sup>. Müxtəlif tərkibli amorf materialların kristal fazaya keçidinin aktivləşmə enerjisi Arrennis tənliyi (3) əsasında hesablanmışdır.

$$\ln k = \frac{-E_{\alpha}}{R} \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A \tag{3}$$

Burada E<sub>a</sub>-aktivləşmə enerjisi, T- temperatur, A-tezlik faktoru, R-unversal qaz sabitidir. DSK üsulundan istifadə etməklə qurulan lnk və 1/T qrafikinin meyl bucağının tgα-nı müəyyən edərək müxtəlif tərkibli amorf materialların kristal fazaya keçidinin aktivləşmə enerjisi E<sub>a</sub>- tapılmışdır. Tədqiqatların nəticəsində birinci və ikinci mərhələdə amorf fazadan kristallik fazaya keçidin aktivləşmə enerjisi hesablanmış, bu zamanı aktivləşmə enerjisinin dəyərinin nümunələrdə müxtəlif qiymətlər aldığı aşkar edilmişdir. Yenidən kristallaşmanın birinci mərhələsində aktivləşmə enerjisi 260-280 kC/mol olduğu halda, evtektik kristallaşma zamanı aktivləşmə enerjisi təxminən 310-365 kC/mol-a bərabər olur. Bu qanunauyğunluqdan kənara çıxma yalnız polikristallitlərin yaranmasının bir mərhələli olduğu Fe29Ni49Si9B13 ərintisındə müşahidə olunur. Bu ərintidə aktivləşmə enerjisi təxminən 664 kC/mol-a uyğun gəlir. Amorf fazadan evtektik kristallaşma zamanı atomlar polikristallitlərin yaranması istiqamətində kiçik məsafələrə diffuziya olunurlar. Beləliklə, evtektik özəklərin əmələ gəlməsi amorf əsasın parçalanması ilə əlaqədardı və bu halda özəklərin əmələ gəlməsi zamanı aktivləşmə enerjisi yüksək olur.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Mastai, Y. Advances in Crystallization Processes // Y. Mastai. – Israel: IntechOpen –2012, – p. 670.

Yenidən kristallaşma zamanı evtektikaya qədərki və evtektikaya yaxın materiallarda aktivləşmə enerjisi fərqli olur ki, bu da özəkəmələgəlmə və onların böyüməsi prosesində nümunələrin müxtəlif kimyəvi tərkibdə olması ilə izah olunur. Həmçinin, aktivləşmə enerjisinin hesablanmış dəyərləri nümunələrin kifayət qədər termiki stabil olduğunu deməyə əsas verir.

Şəkil 8 a-da  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  ərintisi üçün S formalı əyrilər təsvir edilmişdir. S-formalı əyrinin təhlili göstərir ki, səthdə kristallitlərin yaranması prosesi materialın həcmində diffuziya nəticəsində legirləyici elementlərin yenidən paylanması ilə əlaqəli deyildir.



Şəkil 8. Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisi üçün kristallitlərin yaranma kinetikasi: a) çevrilmə dərəcəsi-zaman koordinatlarında; b) Mel-Cons-Avrami koordinatlarında, bütöv xətt n=2.7, qırıq-qırıq xətt n=2.6 çevrilmə dərəcəsinə uyğundur.

Bunu söyləməyə əsas verən, qarışıq amorf-kristallik strukturun müəyyən müddət ərzində stabil qalması faktıdır. Belə ki, elementlərin konsentrasiyasının yenidən paylanması baş versəydi həcmdə amorf matrisanın stabilliyinin pozulmasına gətirən proseslər baş verməli idi.

Şəkil 8 b-də Mel-Cons-Avrami-Kolmoqorov koordinatlarında iki temperatur üçün polikristallitlərin yaranmasının çevrilmə dərəcələri göstərilmişdir. Göründüyü kimi, temperaturdan asılı olaraq bu əyrilərin xarakteri dəyişmir. Hər iki asılılıqda dönüş nöqtəsi müşahidə olunur və dönüş nöqtəsindən əvvəl və sonra seçilmiş koordinatlarda asılılıq xətti xarakter daşıyır. Çevrilmə dərəcəsinin belə dəyişməsi çevrilmənin kinetikasının sıçrayışla dəyişməsi halı üçün xarakterikdir [7, s. 44-46]. Çevrilmənin ilkin mərhələsində Avrami əmsalı hesablama xətası daxilində (±0.1) hər iki tab alma temperaturu üçün bir birinə yaxın qiymətlər alır. Bu əmsal 513 K və 683 K izotermik tab alma temperaturları üçün uyğun olaraq 2,6 və 2,7 şəklində olur. Formal kinetikaya görə çevrilmənin belə əmsala malik olması, kristallik fazanın yaranması və böyüməsinin fazalararası sərhəddə diffuziyanın baş verməsi ilə həyata keçən cevrilməyə uyğun olduğunu göstərir. Çevrilmə dərəcəsi 40%-ə catdıqda çevrilmə xəttinin meyli dəyişir və Avrami əmsalı T=513 K və T=683 K üçün uyğun olaraq n=1,0 və 1,1 qiymətlərini alır. Bu qiymət çevrilmənin kinetikasının artıq mövcud olan özəklərin böyüməsi ilə getməsinə uyğundur [9, s. 477-480]. Çevrilmənin kinetikasının belə dəyişməsi səth zonasında dəmir atomlarının seyrəkləşməsi nəticəsi kimi izah oluna bilər. Bunun nəticəsində yeni polikristallit fazanın yaranma prosesi çətinləşir. Lakin, mövcud kristallitlərin böyüməsi üçün diffuziya prosesi kifayət qədər olur. Həmçinin, Avrami əmsalının soyuducu ilə lentin təmas etdiyi və etmədiyi istiqamətlərdə müvafiq olaraq 2,5-2,7 və 1,1-1,5 qiymətləri əldə edilmişdir. Beləliklə, lentin səthində polikristallitlərin yaranması xüsusiyyətlərinin tədqiqi nəticəsində kinetikasının prosesinin müəyyən edilmişdir ki, lentin soyuducu ilə təmas edən tərəfində bu proses polikristallik fazaların əmələ gəlməsi və onların böyüməsi hesabına baş verir. Lentin soyuducu ilə təmas etməyən tərəfində isə kristallik özəklərin nəzarət olunan artımı ilə gedir.

Amorf təbəqələrin soyuducu ilə təmas etdiyi və etmədiyi istiqmətlərdə fərqliliklərin olması Atom qüvvə mikroskopu (AQM) təsvirlərində də müşahidə edilmişdir. Şəkil 9 a-da lentin mis soyuducu ilə təmas etdiyi istiqamətinin AQM-də çəkilmiş 3D relyef şəkli təsvir olunub. Göründüyü kimi, lentin soyuducu ilə təmas edən istiqaməti bir qədər hamar formada alınır. Lentin alınması zamanı soyuducu ilə təmas etməyən tərəfdə soyuma prosesinin pisləşməsi polikristallik özəklərin əmələ gəlməsinə kömək edir. Bu fikri nümunənin soyuducu ilə təmas edən və təmas etməyən tərəfinin AQM təsvirlərinin müqayisəsi də təsdiq edir. Belə ki, soyuducu ilə təmas etməyən tərəfi soyuducu ilə təmas edən tərəfə nisbətən daha nahamar formada alınır (Şəkil 9 b).



Şəkil 9. Fe $_{59}$ Ni $_{19}$ Si $_{9}B_{13}$  tərkibli amorf ərintinin AQM təsvirləri. a-soyuducu ilə təmas edən tərəf, b- soyuducu ilə təmas etməyən tərəf

Bu isə amorflaşma prosesinin hər iki səthdə müxtəlif dərinliklərdə müxtəlif formalarda baş verdiyini fərz etməyə əsas verir.



Şəkil 10. Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli amorf ərintinin SEM təsvirləri: a- soyuducu ilə təmas edən tərəf; b- soyuducu ilə təmas etməyən tərəf.

Bu fərqlərin olmasını Skanedici elektron mikroskop (SEM) təsvirlərində də aydın müşahidə etmək olur (Şəkil 10).

Amorf fazadan polikristalların yaranmasına keçid mərhələsində səthə yaxın qatın SEM təsvirlərinin təhlilindən alınan nəticələr göstərir ki, səth bir çox aydın görünən fraksiyalardan ibarətdir və məsaməli strukturun inkişafi müşahidə olunur (Şəkil 11, a).



Şəkil 11. Nümunələrin mexaniki emaldan əvvəl (a) və sonra (b) SEM təsvirləri

Ən böyük fraksiyalar 2-2,1 mkm ölçülü məsamələrdən təşkil olunmuşdur. Bu xırda hissəciklər emal proseseində soyuma zamanı kinetik enerjilərinin itirilməsi hesabına digər hissəciklərlə toqquşur və bu toqquşmalar az ömürlü olduğu üçün hissəciklər bir birinin arasında donub qalır. Beləliklə, amorf fazalar formalaşan zaman dəyişməz metafazalar onun bütün səthində bir qədər müntəzəm olsa qeyri-müntəzəm izlənilir da. əsasən və sferik formalarda Polikristallitlərin yaranmasının ilkin mərhələsində 0,75-1,25 MPa təzyiq yaradan iki disk arasında yaymadan sonra maqnit sahəsində termiki emal nəticəsində bu düzgün olmayan formaların ölçüsü təxminən 30-40 nm-ə tərtibdə alınır (şəkil 11, b). Beləliklə aydın olur ki, səthdə belə məsaməli quruluşun mövcud olması polikristallitlərin yaranması prosesinə müsbət təsir göstərir [10, s. 70-72].

**IV fəsil** nümunələrin histerezis maqnit xassələrinin öyrənilməsinə həsr olunub. Sənayedə praktiki olaraq tətbiq olunmaq üçün maqnit materiallarının histerezis ilgəyinin parametrləri (maksimal maqnit induksiyası, qalıq maqnit induksiyası, koersitiv qüvvə və histerezis ilgəyinin düzbucaqlılıq əmsalı) xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bununla əlaqədar olaraq tədqiqatlar, müxtəlif emal prosesləri zamanı nümunələrin histerezis maqnit xassələrinə müxtəlif faktorların təsirinin öyrənilməsinə yönəldilir. Şəkil 12-də əldə edildikdən sonra heç bir emal proseslərinə uğradılmamış ərintilərin histerezis əyriləri təsvir edilib.



## Şəkil 12. Emal prosesinə uğradılmamış ərintilərin histerezis əyriləri

Göründüyü kimi, 1 və 2 əyrilərində maksimal maqnit induksiyası qiymətləri müvafiq olaraq 0,7 və 0,3 Tl daha əlverişli qiymətlər alır. Cədvəl 3-də isə nümunələrin bəzi ilkin göstəriciləri qeyd edilmişdir.

Ərintilər	B <sub>m</sub> , Tl	B <sub>1</sub> , Tl	H <sub>c</sub> , A/m	$T_{c,K}$	Sıxlıq q/sm <sup>3</sup>	R, 10 <sup>-8</sup> Om'm	B-k, HV, kq/mm <sup>2</sup>
$Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$	0,71	0,0059	76,4	690	7,20	130	940
$Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$	0,30	0,0025	50,2	700	7,21	127	920
Fe <sub>39</sub> Ni <sub>39</sub> Si <sub>9</sub> B <sub>13</sub>	0,20	0,0030	80,3	705	7,23	125	905
Fe29Ni49Si9B13	0,15	0,0048	82,6	695	7,24	122	819

Cədvəl 3. Nümunələrin emaldan əvvəl bəzi parametrləri

Nümunələrin xüsusi elektrik müqaviməti  $122-130 \times 10^{-8}$  Om·m tərtibində alınır. Beləliklə, doyma maqnitlənməsinin qiymətlərini nəzərə alaraq diqqət əsasən 1 və 2 ərintiləri üzərində cəmlənmişdir.

Şəkil 13-də Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisinin müxtəlif termiki emal rejimlərində histerezis ilgəyinin dəyişməsi təsvir olunmuşdur. 513 K temperaturda 40 dəq saxlamaq və sobada soyudulmaqla emal nəticəsində histerezis ilgəyinin düzbucaqlılıq əmsalı və maksimal maqnit induksiyasının B<sub>m</sub> artması müəyyən olunmuşdur [16, s. 987-989]. 683 K temperaturda 40 dəq saxlamaq və sobada soyudulmaqla termiki emal nəticəsində koersitiv qüvvənin kəskin böyüməsi və histerezis ilgəyinin sürüşməsi müşahidə edilmiş, doyma maqnit induksiyasının və qalıq maqnit induksiyasının qiymətində artım təsbit olunmuşdur. Belə emal nəticəsində materialın maqnityumşaq xassələrinın tədricən zəifləməsi müəyyən olunmuşdur (Cədvəl 4).



# Şəkil 13 Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisinin müxtəlif emal rejimlərində histerezis ilgəyi əyriləri

Tədqiq olunan materialların maqnit sahəsində yenidən kristallaşma prosesi təcrübi olaraq tədqiq edilmişdir. Amorf-kristallik strukturun yaranması zamanı baş verən proseslərin histerezis ilgəyinin göstəricilərinə təsiri müəyyən olunmuşdur.

Maqnit sahəsinin polikristalların yaranması prosesinə və histerezis ilgəyinin parametrlərinə təsirini tədqiq etmək üçün, materiallar uzununa maqnit sahəsində və sahə olmadığı halda bir neçə rejimdə tab alma prosesinə uğradılmışdır [11, s. 16-18].

T, ⁰K	B <sub>m</sub>	, Tl	Br	, Tl	H <sub>c</sub> ,	R, x10 <sup>-8</sup>
					A/m	Om <sup>.</sup> m
	-	+	-	+		
Emal edilməmiş	0,71	0,71	0,0042	0,0059	76,4	127
513 K/40 dəq	0,80	0,80	0,0034	0,0027	95,4	130
683 K/40 dəq	1,02	1,02	0,2355	0,5387	1180	130

Cədvəl 4. Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisinin histerezis ilgəyi parametrləri

Şəkil 14-də  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$  və  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  ərintilərinin 2 emal prosesindən sonra (o-ilkin nümunə,  $\Delta$ -tabı alınmış,  $\Box$ -mexaniki yayma və maqnit sahəsində emal olunmuş), maksimal maqnit induksiyasının maqnit sahəsində və sahəsiz halda termiki emaldan asılılığı göstərilmişdir. Belə ki, hər iki ərintidə maqnit sahəsindəki emal, maqnityumşaq xassələrinin artmasına nisbətətən daha çox təsir etdiyi müşahidə edilir [5, s. 179-183].



Şəkil 14. Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> – a və Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> –b ərintilərində maqnit sahəsində termiki emalın doyma maqnit induksiyasına təsiri:  $\circ$ - ilkin nümunə;  $\Box$ - maqnit sahəsində emal olunmuş;  $\Delta$ - tabı alınmış.

Sınaqların başlanğıcında tabı alınmış və maqnit sahəsində emal olunmuş nümunələrdə nisbətən daha yüksək maksimal maqnit induksivası (0, 8-0, 9)TI) müşahidə olunur. Polikristallitlərin yaranmasının ilkin mərhələsi B<sub>m</sub>-in dəyişməsinə yaxşı təsir edir və onun qiymətinin yüksəlməsi müşahidə olunur (Şəkil 15). Bu qivmətlər Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisındə Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisinə nisbətən daha yüksək qiymətlərlə ifadə olunur. Qalıq maqni induksiyasının 0,002-0,004 Tl aralığında qiymətlər alır [12, s. 63-67]. 670-770 K temperatur aralığında maksimal və galıq magnit induksiyasının qiymətində kəskin azalmalar müşahidə olunur Bu nəticə qeyd olunmuş temperaturda amorf fazanın ikinci polikristallik fazava kecidi ilə əlaqələndirilir. Belə ki, 695 K-dən yuxarı temperaturda termiki emal ölçüsü 50-100 nm-ə qədər olan Fe-B sintezinə gətirib çıxarır. Mikrostrukturun belə dəvisməsi magnityumsaq xassələrin ciddi şəkildə pozulması ilə müşayət olunması ədəbiyyatdan da məlumdu<sup>3</sup>.



Şəkil 15.  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13} - a$  və  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13} - b$  ərintilərində maqnit sahəsində termiki emalın qalıq maqnit induksiyasına təsiri: o- ilkin nümunə;  $\Box$ - maqnit sahəsində emal olunmuş;  $\Delta$ - tabı alınmış.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Herzer, G. Soft magnetic nanocrystalline materials // Scripta Metallurgica Mateirial, -1995, 33(10), - p. 1741-1756.

Göründüyü kimi (Şəkil 16) koersitiv qüvvə  $(H_c)$  polikristallitlərin yaranmasının birinci mərhələsində nisbətən azalır, sonra isə onun artması baş verir.



Şəkil 16.  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$  – a və  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  – b ərintilərində koresitiv qüvvənin qiymətinə emal rejimlərinin və emal temperaturunun təsiri: o- ilkin nümunə;  $\Box$ - maqnit sahəsində emal olunmuş;  $\Delta$ - tabı alınmış.

Yalnız tabı alınmış nümunədə 683 K-də  $H_c$ -nin daha kəskin böyüməsi nəzərə çarpır. Beləliklə,  $H_c$ -nin də dəyişməsi materialda polikristalların yaranması dərəcəsindən asılı olur.  $H_c$ -nin tabı alınmış Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintisində 680-750 K temperatur oblastında kəskin artıması bu ərintinin artıq tab alma emalından sonra təkrar istilik təsirinə məruz qalması nəticəsində polikristallik dənələrin iriləşməsi ilə əlaqəli olduğu ehtimal edilir. Düzbucaqlılıq əmsalının mexaniki yaymadan sonra maqnit sahəsində emal olunmuş hər iki nümunədə yüksəldiyi müəyyən edilmişdir (Şəkil 17) [17, s. 229-231]. Beləliklə, aydın olur ki, histerezis ilgəyi parametrlərində ən yaxşı göstəricilər mexaniki yaymaya uğradıldıqdan sonra maqnit sahəsində emal olunmuş nümunələrdə aşkar edilir [8, s. 253-257].

Histerezis ilgəyi parametrlərinin qiymətlərinin belə strukturla əlaqəli dəyişmələr mövcud və müasir nəzəriyələrd əsasında izah olunmuşdur. Bəzi histerezis maqnit xassələrinin maqnit sahəsində emal zamanı yüksəlməsi Neel-Tanuqiçi tərəfindən irəli sürülən cüt atomların nizamlanması nəzəriyyəsi əsasında çox yaxşı izah olunur.



Şəkil 17.  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$  – a və  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  – b ərintilərində düzbucaqlılıq əmsalına emal rejimlərinin və emal temperaturunun təsiri: o- ilkin nümunə;  $\Box$ - maqnit sahəsində emal olunmuş;  $\Delta$ - tabı alınmış.

Belə ki, bu tip dəyişmələrin səbəbi maqnit sahəsində termik emal olunma və sahədə soyudulma nəticəsində nümunədə gətirilmiş bir oxlu anizotropiyanın induksiyalanması hesab olunur<sup>4</sup>. Nümunələrdə maqnit xassələrinin struktur və anizotropiyalarla əlaqəsini izah etmək üçün Aman alimi G. Herzer tərəfindən təklif olunan təsadüfi anizotropiya modeli adlanan nəzəriyyədən istifadə edilmişdir. Modelin riyazi ifadəsi (4) düsturu şəklində verilir.

$$H_c = p_c \frac{\langle K \rangle}{J_s} \approx \frac{K_i^4 D^6}{J_s A^3}$$
(4)

Burada:  $H_c$  – koersitiv qüvvə, <K> - anizotropiya enerjisinin orta sıxlıqı, D – dənələrin ölçüsü, A– korelyasiya uzunluqu,  $J_s$  – maqnit momentidir. Bu modelə əsasən mikrostrukturun, xüsusən də dənə ölçülərinin domen divarlarının ölçüsündən kiçik olduğu hallarda maqnitokristal anizotropiyanın təsiri dənələrin təsadüfi istiqamətli anizotropiyalarının qiyməti ilə hesablanır.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Pənahov T.M., Dəqiq ətintilərin fiziki metalşünaslığı. Dərslik. Pənahov T.M, Quluyeva G, Pənahov. N.T, Bakı: 2000, s. 555

Bu halda koorestiv qüvvənin kiçik qiyməti və yaxşı maqnityumşaq müsahidə olunması xassələr dənələrin magnitokristal anizotropiyalarının təsadüfü düzülməsi və nəticədə onların yekun qiymətinin kiçik dəyərlər (5-10 J/m<sup>3</sup>) alması ilə əlaqəlidir. Bu yanaşmaya əsasən kristal quruluşlu ərintilərdən fərqli olaraq amorf nanokristallik materiallarda magnityumsag və xassələr mikrostrukturanın, xüsusən də dənə ölcülərinin domen divarların ölçüsündən (~100 nm-2 mkm) kiçik olduğu hallarda yəni, kiçik dənələrə malik materiallarda müsahidə olunmalıdır. Kristal guruluslu magnityumsag materiallarda koresitiv güvvənin dənə ölşüsündən asılılğı H<sub>c</sub>~1/D şəklində olduğu halda amorf və nanokristallik maqnityumsaq materiallarda bu  $H_c \sim D^6$  şəklində müəyyən olunur. Tədqiq olunan materiallar G. Herzerin təsadüfi anizotropiya modelə uyğun davranışları göstərmişdir. Həmçinin, bu modeldə müəyyən olunan əsas məqam budur ki, yaxşı maqnityumşaq xassələri əldə etmək üçün xırda ölçülü (10-50nm) dənələrə malik qurulus almaq və dənələr arasında effektiv mübadilə uzunluqunu (A<sup>3</sup>) saxlamaq lazımdır<sup>5</sup>.

Texniki istismar zamanı alınmış materiallar müəyyən deformasiya təsirlərinə məruz qalır. Bu faktorun materialın histerezis ilgəyi parametrlərinə təsirini aydınlaşdırmaq məqsədi ilə nümunələr müxtəlif deformasiya emalına uğradılıb. Şəkil 18-də Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli amorf ərintinin histeresiz ilgəyi parametrlərinə plastik deformasiya emalının təsiri təsvir edilmişdir. Göründüyü kimi, deformasiyanın artması ilə maksimal maqnit induksiyası B<sub>m</sub>-in qiyməti azalır, qalıq maqnit induksiyası B<sub>r</sub>-in, düzbucaqlılıq əmsalın B<sub>r</sub>/B<sub>m</sub> və koersitiv qüvvə H<sub>c</sub>-nin qiyməti isə çox zəif artır [4, s. 164-166]. Deformasiya zamanı maqnit xarakteristikalarının dəyişməsi elastiki gərginliklər sahəsinin təsiri ilə induksiyalanan biroxlu maqnit anizotropluğu yaradır. Bu fakt, göstərilən parametrlərin deformasiya

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Herzer. G Modern soft magnets: Amorphous and nanocrystalline materials // Acta Materialia, - 2013, 61 (2013), -p. 718–734.

Göründüyü kimi, bu dəyişmələr çox kiçik qiymətlərlə ifadə olunur və materialın texniki xarakteristikalarına demək olar ki, təsir etmir [19, s. 201].



Şəkil 18. Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli nümunədə müxtəlif deformasiya dərəcəsində histerezis ilgəyi xarakteristikalarinin dəyişməsi

Cədvəl 5-də  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$  tərkibli nümunənin bəzi texniki parametrləri qeyd olunmuşdur. Koresitiv qüvvənin dəyəri 20-50 A/m tərtibində, materialın sıxlıqı isə 7.2 q/sm<sup>3</sup> qiymət alır. Bu tərkibli ərintidə burulğanlı sahələrdə itkinin ən aşağı 0.4 Vt/kq olması müəyyən edilmişdir;

Cədvəl 5. Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> tərkibli amorf lentin bəzi texniki göstəriciləri

B <sub>m</sub> ,	B <sub>r</sub> , Tl	H <sub>c</sub> ,	Sıxlıq,	T <sub>c</sub> ,	R, 10 <sup>-8</sup>	P,	Bərklik,
Tl		A/m	q/sm <sup>3</sup>	Κ	Om <sup>.</sup> m	50Hz,1,0	HV
						Tl, Vt/kq	kq/mm <sup>2</sup>
0.9	0.003	20-	7.2	700	127	0.4	940
		50					

Cədvəl 6-da hal-hazırda istismar olunan kontaktorlarda istifadə edilən 2142 markalı elektrotexniki poladın xassələri ilə müxtəlif emal rejimlərinin tətbiqi ilə əldə olunan maqnityumşaq xassəli Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> əsaslı amorf təbəqənın xassələrinin müqaisəsi verilmişdir. Göründüyü kimi amorf nümunə kiçik qalıq maqnit induksiyası, yüksək xüsusi elektrik müqaviməti və yaxşı mexaniki bərkliyin olması ilə fərqlənir.

# Cədvəl 6. Amorf və kristallik 2412 markalı elektrotexniki polad içlik materialının texniki xarakteristikalarının müqaisəsi

Materiallar/ Göstəricilər	B <sub>m</sub> , TI	B <sub>r</sub> , Tl	$H_c, A/m$	R, 10 <sup>-8</sup> Om·m	d, mm	$T_c, K$	P, 50Hz,1,0 Tl, Vt/kq	ρ q/sm <sup>3</sup>	B-k, HV, kq/mm <sup>2</sup>
Fe <sub>59</sub> Ni <sub>19</sub> Si <sub>9</sub> B <sub>13</sub> AMƏ	1, 0-1, 1	0,003	20-30	127- 130	0,03	690	0,8	7,20	940
2412 markalı Et/P	1,9-2,0	1,720	60-105	45-50	0,3	1010	1,0-1,2	7,65	350

Dissertasiya işində tədqiq edilən  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  tərkibli amorf lentin praktik tətbiq imkanlarının araşdırılması məqsədi ilə halhazırda istismar olunan elektromaqnit kontaktorların massiv, kristallik E şəkilli içlikləri öyrənilən amorf materiallardan hazırlanmış içliklərlə əvəz olunmuşdur (Şəkil 19) [17, s. 77]. Halhazırda istismar olunan bu cihazların əsas çatışmayan cəhəti iş resursunun az olmasıdır. Müşahidələr göstərmişdir ki, elektromaqnit kontaktorların istismar zamanı sıradan çıxmasının səbəbləri aşağıdakılardır:

-Yenidən maqnitlənmə zamanı burulğanlı cərəyanlara görə yaranan itkilər nəticəsində kontakt hissələrin qızaraq sıradan çıxması;

-Qoşulmalar zamanı yaranan zərbələr nəticəsində kontakt hissələrin deformasiya olunması;

-Kontakt hissələrin korroziya nəticəsində simmetriyasının pozulması.



Şəkil 19. a) dəyişən cərəyanla işləyən kontaktor, b) bu kontaktorda istifadə olunan kristallik Fe-Si əsaslı içlik.

Xüsusi emal rejimlərini tətbiq etməklə dissertasiya işində öyrənilən amorf lentlərdə alınmış yüksək elektrik müqaviməti (p=130 mkOm<sup>•</sup>cm), yaxşı maqnityumşaq xassəsi (H<sub>c</sub>=20-50 A/m), əlverişli doyma magnit induksiyası (B<sub>m</sub>=1,0-1,1 Tl), eləcə də amorf materialların korroziyaya davamlı olması onların kontaktor nüvələrini əvəz etməsi üçün zəmin yaratmışdır [18, s. 3-4]. Dəyişdirilmiş amorf içliklər şəkil 20 də göstərilən sxemə uyğun hazırlanmışdır. Əvvəlcə amorf lentlərdən bir-birinin üzərinə sarımaqla 29 mm diametrində və 4 mm qalınlığında iki ədəd, ellipis formalı içliklər hazırlanmış (şəkil 20, a və 1), sonra onların üzərinə 4 mm galınlığda yenidən əlavə lentlər sarınmışdır. Lentlər sarınan zaman onların arası müvafiq laminasiya materalları ilə izolyasiya olunmuş və sonra yüksək təzyiq altında sıxılmışdır. Hazırlanmış içliklər xüsusi emal rejimindən sonra "wire erosion" adlanan xüsusi kəsilmə üsulu ilə mərkəz hissəsindən kəsilmişdir.



Şəkil 20. Amorf lentlərdən hazırlanmış içlikərin hazırlanma sxemi: 1-içliyin üst qatı; 2- içliyin alt qatı; a- lentlərdən hazırlanmış içlik kəsilmədən öncə; b-içlik kəsildikdən sonra; ciçliyin yan görünüşü; d- içliyin üst görünüşü.

Sınaqlar üçün Sassin şirkətinin istehsalı olan analoq 3SC8-A122 (istismar resursu 4950 dəfə qoşma) markalı dəyişən cərəyanla və 220V gərginlikdə işləyən kontaktorun içlikləri, öyrənilən amorf nümunələrdən hazırlanmış yeni içlik ilə əvəz edilmışdir (Şəkil 20). Yeni amorf elektromaqnit içlik quraşdırılmış kontaktorun IEC 60947-4-1 standartının 6.2 və B.2.2 bəndlərinə əsasən yoxlama sınağı aparılmışdır. Yoxlanma zamanı zavod resursundan 7-8 % (5295-5350 dəfə qoşma) yüksək nəticə əldə olunmuşdur. Sınaq prosesinin sonunda içliklərin kontakt uclarında heç bir korroziya izi və zədələnmə aşkar edilməmişdir (sınqa aktları işə əlavə olunub).

Beləliklə, amorf əsaslı içliklərin tətbiqi nəticəsində aşağıdakı daha əlverişli xassələrə malik kontaktor cihazı əldə olunmuşdur:

1. Təklif olunan yeni kontaktorda 1Tl, 50 Hz tezlikdə Ştaenmetz tənlikləri əsasında hesablanmış itgi 0,4-0,8 Vt/kq təşkil etmişdir bu isə 2412 marka E/T poladal müqaisədə 1,5 dəfə daha azdır.

2. Təqdim olunan yeni kontaktorda amorf materiallardan hazırlanmış içliklərin uc hissəsinin möhkəmliyi 340-350 HV, 2412 markalı elektrotexniki poladdan hazırlanmış içliklərin uc hissəsinin bərkliyi isə 100-120 HV təşkil etmişdir. Uc hissələrin belə bərkliyi 45005000 qoşulma nəzərdə tutulan kontaktorların zərbələr nəticəsində deformasiya olunmasının daha gec baş verməsinə səbəb olur və kontaktorun istismar ömrünü artırır.

3. Təqdim olunan yeni kontaktorda amorf təbəqələrdən hazırlanmış içliklər korroziyaya daha davamlıdır. Bu isə nəm mühitlərdə istismar zamanı, həmçinin uzun müddət dayanmalardan sonra təkrar işə salmalarda kontaktorun daha tez sıradan çıxmasının qarşısını alır

4. Təklif olunan yeni amorf materialın sıxlıq 6 % daha azdır nəticədə içliklərin istehsalında materiallara qənaət olunur.

Kontaktor cihazının faydalı model olaraq ilkinlik təyin olunub və patentləşdirilib [21, s.17].

Beləliklə amorf materialların emalının təcürbi rejimlərinin təhlili göstərir ki, fiziki xassələrin kompleks dəyişdirilməsinə təkcə müxtəlif tip maqnit anizotropiyalarının təsiri ilə deyil, həm də əmələ gələn amorf-kristallik strukturu tənzimləmək yolu ilə də nail olmaq olur.

### NƏTİCƏ

1. Fərqli soyuducu sisteminə malık yeni yaradılmış qurğuda soyuducunun fırlanma tezliyini dəyişməklə və istifadə edilən suyun temperaturunun 3-5 °C olmasını təmin etməklə  $10^5 - 10^6$  K/san kritik soyuma sürəti əldə olunmuşdur. Belə kritik soyuma sürəti qalınlığı 30-50 mkm olan amorf quruluşlu təbəqələrin əldə olunmasına imkan vermişdir.

2. AMƏ-də amorf fazadan polikristallitlərin yaranmasının geniş temperatur – zaman intervalında əsas qanunauyğunluqlarına baxarkən və əmələ gələn fazaların müqayisəsi aparılarkən DSK spektrlərinin müqayisəsinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, materialları iki qrupa bölmək olar: 1) 513-683 K temperatur intervalında polikristalların yaranmasının bir mərhələdə gedən və 2) iki mərhələdə getdiyi materiallar. Bu hal dəmirin miqdarının az olduğu nümunədə (Fe<39%) bir Zirvə ilə, dəmirin miqdarının çox olduğu nümunələr üçün isə (Fe>39%) iki zirvə ilə müşahidə olunmuşdur.

3. Lentin AQM vasitəsi ilə alınmış 3 D təsvirlərindən aydın olmuşdur ki, alınma prosesi zamanı soyuducu ilə təmas edən və etməyən istiqamətlərdə səth relyefində fərqlər mövcuddur. Aşkar edilmişdir ki, lentin soyuducu ilə təmas edən tərəfində polikristallitlərin yaranması prosesi polikristallik fazaların əmələ gəlməsi və onların böyüməsi hesabına baş verir. Lentin soyuducu ilə təmas etməyən tərəfində isə proses yalnız kristallik özəklərin artımı ilə gedir. Lentin alınması zamanı soyuducu ilə təmas etməyən tərəfdə soyuma prosesinin pisləşməsi polikristallik özəklərin əmələ gəlməsinə kömək edir.

4. Müəyyən edilmişdir ki, amorf fazadan polikristalların yaranmasının keçid mərhələsində səth bir çox aydın görünən fraksiyalardan ibarət olur və məsaməli strukturun inkişafi müşahidə olunur, ən böyük fraksiyanın ölçüsü 2,0-2,1 mkm tərtibində olur. SEM-dən alınmış təsvirlərdən görünür ki, mexaniki üsulla 0,75-1,25 MPa təzyiq ilə yaymadan və maqnit sahəsində termiki emaldan sonra poikristallitlərin yaranmasının ilkin mərhələsində bu düzgün olmayan formaların ölçüsü təxminən 30-40 nm tərtibində olur. Belə məsaməli quruluşun mövcud olması polikristallitlərin yaranması prosesinə müsbət təsir göstərir.

5. Histerezis ilgəyi parametrlərində diqqətçəkən göstəricilər mexaniki yaymadan sonra maqnit sahəsində termiki emal olunmuş nümunələrdə müşahidə edilir. Belə ki, bu cür nümunədə doyma maqnit induksiyası yüksəlir. Müəyyən edilmişdir ki, Fe<sub>49</sub>Ni<sub>29</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintilərdə gərginlikləri çıxarmaq üçün 513 K-də 40 dəqiqə müddətində saxlamaqla və soba ilə birlikdə soyutmaqla termiki emal nəticəsində doyma maqnit induksiyasının qiyməti 0,9 Tl və qalıq maqnit induksiyanın qiyməti 0,0027 Tl olan amorf-kristallik material alınır və bu materialda burulğanlı sahə səbəbindən yaranan itkinin qiyməti 0,4 Vt/kq qədərdir.

6. Aşkar edilmişdir ki, 0,75-1,25 MPa təzyiq altında mexaniki yayma ilə emal və 10 E uzununa maqnit sahəsində 623 K-ən 40 dəq saxlamaqla termiki emaldan sonra Fe<sub>59</sub>Ni<sub>19</sub>Si<sub>9</sub>B<sub>13</sub> ərintsində 30-40 nm tərtibli dənə ölçüləri olduqda koresitiv qüvvəsinin qiyməti 20-30 A/m, maksimal maqnit induksiyası  $B_m = 1,0-1,1$  Tl, qalıq maqnit induksiyası  $B_r=0,002-0,004$  Tl və xüsusi elektrik müqaviməti  $\rho=127-130 \times 10^{-8}$ Om·m olan materiallar əldə edilir.

7. Zavod resursu 4950 dəfə qoşulma olan 3SC8-A122 markalı analoq kontaktorun elektrotexniki poladdan olan içliyin, öyrənilən amorf lentlərdən hazırlanmış içliklə əvəz etməklə aparılan sənaye sınağı nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, amorf lentlərdən hazırlanan içliklərin tətbiqi kontaktorun iş resursunu 7-8% artırmışdır (5295-5350 dəfə qoşulma). Sənaye sınaqlarının sonunda kontaktorun birləşən yerlərində korroziya və zədə izləri aşkar edilməmişdir.

#### Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər.

1. Rəfiyev N.M. Fe-Ni-Si-B tərkibli amorf materialların alınma texnologiyasının işlənməsi // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII respublika elmi konfransının materialları. - Bakı, 2013, - s 73-74

2. Pənahov T.M., Rəfiyev N.M., Əlizadə İ.İ.  $(FeCo)_{1-x}Si_x$  Amorf maqnit ərintilərin alınma texnologiyası və termiki emaldan asılı olaraq maqnit xassələri // "Metallurgiya və metalşünaslığın problemlərri" I beynəlxalq konfrans, - Bakı, - 2014, - s. 82-84.

3. Pənahov T.M., Rəfiyev N.M., Amorf lent almaq üşün qurğunun işlənməsi // Fizikanın müasir problemləri VIII-ci respublika elmi konfransının materialları, - Bakı, -2014, s. 306-307.

4. Pənahov T.M., Rəfiyev N.M., Əlizadə İ.İ. Plastiki deformasiyanın və hodrostatik təzyiqin amorf metallik ərintilərin (AMƏ) histerezis ilgəyi parametirlərinin formalaşmasına təsiri // «Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası», Beynəlxalq konfrans materialları. - Bakı, -2015. - s. 164-166.

5. Rəfiyev N.M. Amorf metallik ərintilərin (AMƏ) histerezis ilgəyinin formalaşmasına daimi maqnit sahəsinin təsiri // Fizikanın aktual problemləri respublika elmi konfransı. - Bakı 2015, s. 178-183.

6. Rəfiyev N.M. Amorf strukturun əmələgəlmə şərtləri və maye haldan tablama yolu ilə amorf strukturun alınması // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX respublika elmi konfransının materialları. - Bakı, 2015, s 21-23

7. Rəfiyev N.M. Termiki emal zamanı daimi maqnit sahəsinin amorf metallik ərintilərin kristallaşma prosesinə təsiri // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX respublika elmi konfransının materialları. -Bakı, 2016, s 44-46.

8. Pənahov, T.M., Rəfiyev N.M., Əlizadə İ.İ. Tablama zamanı amorf metallik ərintilərin maqnit xarakteristikalarının dəyişməsi // "Metallar fizikasının müasir problemləri" Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. Bakı, 2016 s 253-257. 9. Rafiyev, N.M. Peculiarities of Surface Crystallization of AMA Crystallization of Amorphous Ribbon from the Contact Side // International Journal of Science Research, - 2016.v.5, p.7

10. Панахов Т.М., Рафиев Н.М., Влияние поверхностной кристаллизации на магнитные свойства материала // Магнитные фазовые переходы, Xll международного семинара, - Махачкала 7 сентября, -2017. -с.70-72

11. Pənahov T.M. Amorf metallik ərintilərin histerezis ilgəyinin formalaşmasına daimi maqnit sahəsinin təsiri / T.M. Pənahov, N.M. Rəfiyev // AzTU Elmi əsərlər jurnalı, № 4 -2017 - s. 16-18.

12. Pənahov T.M. Rəfiyev N.M. Amorf quruluşlu ərintilərdə tab alma zamanı maqnit xassələrinin dəyişməsi // AzTU Elmi əsərlər jurnalı, № 2 -2018 - s.63.

13. Panakhov T.M. Magnetooptical properties of amorphous ribbon based on CoFe / T.M. Panakhov., A. A. Isaeva., N. M. Rafiev // Бюллетень науки и практике,-Нижневартовск, - 2018, T.4,  $N_{28}$ , - p.136-143.

14. Pənahov T.M., Rəfiyev N.M. Amorf metallik ərintilərin histerezis ilgəyinin maqnit sahəsində formalaşması // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin yaranmasının 100 illiyinə həsr olunmuş professor-müəllim heyətinin, doktorantların və gənc tədqiqatçıların beynəlxalq elmi konfransının materialları. Bakı 2018, s 229-232

15. Pənahov T.M., Rəfiyev N.M., Hacıyeva G.H. Fe-Ni-Si-B tərkibli amorf ərintilərin termiki davamlılığının araşdırılması // Maqnityumşaq ərintilərin informasiya texnologiyalarında və hərbi sənayedə tətbiqi perspektivləri Beynəlxalq elmi praktiki konfrans materialları. Bakı 2019, s. 161-164.

16. Panakhov T.M. Magnetic Thermocouples Made of Co–Fe and Ni–Fe Permalloys. / T. M. Panakhov A. A. Isaeva, N. M. Rafiev, [et. al.] // Journal Technical Physics, -Moscow, - 2019, № 7, - p. 1053–1055.

17. Rafiyev N.M. Effects of heat treatment on some magnetic properties of amorphous alloys containing  $(Fe-Ni)_{1-x} M_x$  (M=Si, B). // Zeitschrift für Naturforschung A ZNA, - 2022, 77(10), -p. 2-8. 18. Rəfiyev N.M., Fe-Ni əsasli nazik layli amorf maqnityumşaq ərintilərin eletromaqnit kontaktorlarda tətbiqi // - Bakı: Energetikanın problemləri elmi – texniki jurnal, - 2022 - №3 -s. 179-183.

19. Rafiyev N.M. Effects of Heat Treatment on some Magnetic Properties of Amorphous Alloys Containing  $Fe_{49}Ni_{29}Si_9B_{13}$  and  $Fe_{59}Ni_{19}Si_9B_{13}$  // Journal of Physics & Optics Sciences, -2022, 4(3): -p.2-4

20. Rafiyev, N.M., Ahmadov V.I., Isayeva A.A. Prospects to use amorphous Fe-Ni-Si-B ribbons in contactor cores // Ukrainian Journal of Physics – 2023, 68(3), - p. 201-209.

21. Abdullayev A.P., Rafiyev N.M., İsayeva A.Ə., Əsgərova G.Z. Effect of thermal treatment methods on magnetic hysteresis properties of Fe-Ni-Si-B based amorphous magnets // 8th International Conference Modern Trends in Physics. November 30 – December 01, 2023, -Baku, -p. 151.

22. Rəfiyev, N.M., Kontaktor, Faydalı modelə patent F2023 0036, Azərbaycan Respublikası Əqli Mülkiyyət Agentliyi, rəsmi "Sənaye Mülkiyyəti" bülleteni - 2023, № 6, s. 17 Dissertasiyanın müdafiəsi <u>04 iyun 2024</u>-ci il tarixində saat <u>15<sup>30</sup></u>-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəhəri, Z. Xəlilov küç. 23, Bakı Dövlət Universiteti, əsas bina

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat <u>03</u> <u>May</u> <u>2024</u>-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.04.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 45945

Tiraj: 100