

001 021.0.048.7

# POLAD 35-in HETEROFAZ MATERİALLARLA ELEKTROQIĞILCIM (EQL) LEGİRLƏNMƏSİ

**Qurbanov F.N.**

*Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası  
Az1000, Bakı ş., Z.Əliyeva küç., 18  
E-mail: seaman\_f\_@mail.ru*

***Xülasə.** Məqalədə gəmi maşın və mexanizmlərinin polad detallarının işçi səthlərinə yeyilməyə dözümlü örtüklərin çəkilməsi üçün elektroqiğilcım üsulunun istifadəsi şərh olunur. Bu məqsədlə anod materialı kimi heterofaz birləşmələrdən istifadə olunur. Müxtəlif mühafizəedici mühitlərdə katod və anodun kütlə dəyişməsinin emal vaxtından asılılığı tədqiq edilmişdir. Örtük çəkildikdən sonra səth qatında bərkliyin dəyişməsi müəyyən edilmişdir.*

***Аннотация.** В статье освещается использование электроискрового способа для нанесения износостойких покрытий на рабочую часть стальных деталей судовых машин и механизмов. С этой целью в качестве анодного материала используются гетерофазные соединения. Исследована продолжительность изменения массы анода и катода при различных защитных средах в зависимости от времени обработки. Определено изменение твердости на рабочей поверхности после нанесения покрытия.*

***Abstract.** The article covers the use of the electric spark method for applying wear-resistant coatings to the working part of steel parts of ship machinery and mechanisms. For this purpose, heterophase compounds are used as the anode material. The duration of the change in the mass of the anode and cathode under different protective media, depending on the treatment time, was studied. The change in hardness on the working surface after coating is determined.*

***Key words:** heterophase material, hardness, electrospark alloying, mass transfer, cathode, anode*

**Ключевые слова:** гетерофазный материал, твердость, электроискровое легирование, массоперенос, катод, анод

**Açar sözlər:** heterofaz material, bərklik, elektroqıçılıcı legirləmə, kütlə köçürmə, katod, anod

---

**Giriş.** Gəmi maşın və mexanizmlərində çətinəriyən birləşmələr abraziv sürtünmə, yüksək temperaturlar və mexaniki yüklər şəraitlərində işləyən tezyeyilən polad səthlərində mühafizə örtüyü əhəmiyyətli dərəcədə maraq doğurur.

Belə örtüklərin yaradılmasının effektiv üsullarından biri istənilən cərəyankeçirən materialların emal olunan səthinə örtük çəkməyə imkan verən EQL ola bilər. Əksər hallarda legirləyici elektrodlar kimi W və T karbidləri əsasında bərk xəlitələr tətbiq olunur [1]. Lakin volfram xammalının defisitliyi və titan karbidinin yüksək kövrəkliyi, habelə bərk xəlitələrin yüksək eroziyadavamlılığı bu materiallarla legirləmə metodunun bütün üstünlüklərini istifadə etməyə imkan vermir.

Çətinəriyən birləşmələrin perspektiv sinfi IV qrup keçid metallarının nitridləri və çətinəriyən oksidlərdir (xüsusən  $Al_2O_3$ ). Bunlar fiziki-kimyəvi və mexaniki xassələrinə görə karbidlərə uduzmurlar. Karbidlərlə müqayisədə daha aşağı bərkliyinə baxmayaraq, aşağı kövrəklikdə nitridlər bir qədər plastikdir, yüksək temperaturlarda oksidləşməyə daha böyük müqavimət göstərirlər [2, 3]. Fe qrupu metal və ərintilərə aşağı sürtünmə əmsalına, habelə sürtünməyə yüksək davamlığa malikdir. Alüminium oksidinin üstünlüklərinə artırılmış temperaturlar və aşağı adfeziya qabiliyyəti şəraitlərində nisbətən yüksək istilikkeçirmədə [4] və böyük olmayan sürtünmədə əhəmiyyətli bərklik və möhkəmlik aid edilir. Lakin alüminium oksidinin və nitridlərin yüksək kövrəkliyi və aşağı termiki dözümlüyü, sonuncuların pis presləmə və bişirmə qabiliyyəti göstərilən birləşmələrin metal və ərintilərlə istifadə zəruriyyətini şərtləndirir. Sementləyici əlaqələndiricilərdən ən effektivisi plastikliyə, yüksək termiki dözümlüyə və möhkəmliyə malik və ona termiki genişlənmə əmsalına görə yaxın olan möhkəmləndirici faza ilə zəif qarşılıqlı təsir göstərən çətinəriyən metallardır [5].

**Əsas hissə.** Məqalə poladların EQL-də legirləyici elektrod materialı kimi Ni və V əlavəlikləri ilə NbN- $A_2O_3$  kompozisiyalarının istifadə imkanlarına həsr olunur.

Tərkiblər aşağıdakı kimidir (həcm %-lə):  $15Al_2O_3+45NbN+40Ni$ ,  $15Al_2O_3+65NbN+20Ni$ ;  $15Al_2O_3+55NbN+30V$ ;  $15Al_2O_3+45NbN+40V$ ; təmiz NbN, habelə  $45NbN +55Al_2O_3$ ;  $85NbN+15Al_2O_3$ ,  $55NbN+45Al_2O_3$ .

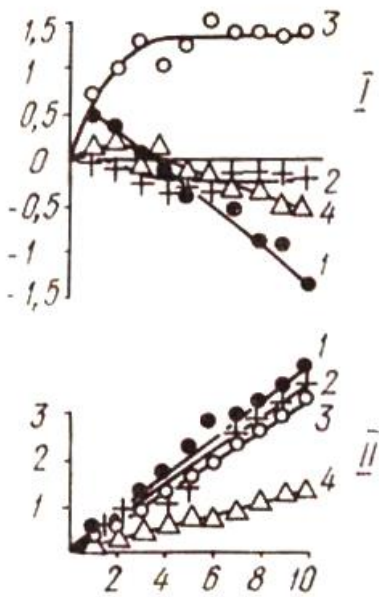
Nümunələri xüsusi sobalarda A markalı arqon mühitində və xüsusi təmiz azotda 1850-2150<sup>0</sup>C-də bişirilir. Katodun materialı polad 35-dir.

Elketroqıçılıcı emalı ЭФИ-46 A qurğusunda aşağıdakı rejimdə aparılır:

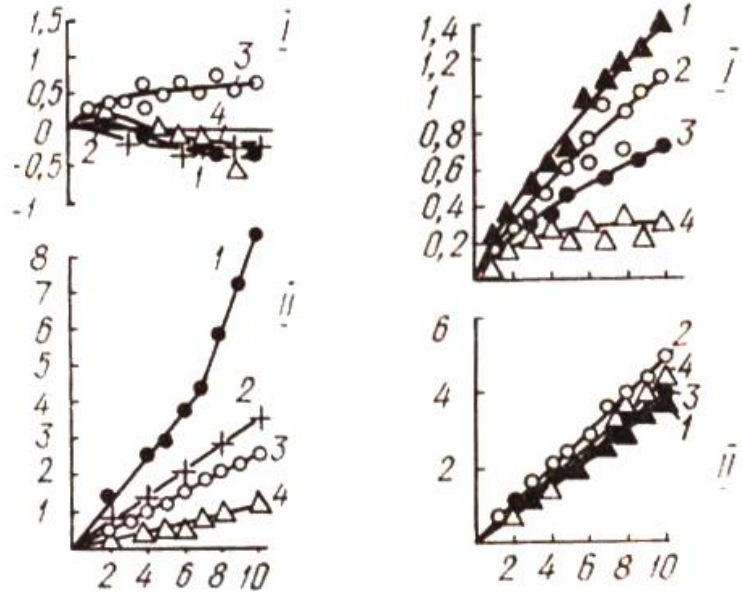
$J=0,45A$ ;  $E=0,30C$ . EQL prosesində anodun eroziyası və katodun materialının artımı ölçülür. Möhkəmləndirilmiş qatın struktur və faza analizini metalloqrafik və mikrodyuometrik metodları ilə yerinə yetirilir. Bu halda hidrogen oksidinin qaynayan sulu məhlulunda və  $HNO_3$ -ün 4%-li soyuq spirt məhlulunda nümunələrin ardıcıl aşılama metodu tətbiq olunmuşdur.

NbN -  $Al_2O_3$  kompozisiyaları əsasında elektrodlarla legirləmədə katodun eroziyasının və kütləsinin EQL-də legirləmə vaxtından asılı olaraq dəyişməsi tədqiq olunmuşdur (şəkil 1). Göstərilən materiallarla legirləmə üçün 8-55 həcm% konsentrasiyalar intervalında  $Al_2O_3$ -ün miqdarını 15-55 həcm% intervalında artırıqda, möhkəmləndirilmiş qatın göstərilən materiallarla legirləməsi üçün formalaşma şəraitlərinin hiss olunacaq pisləşməsi səciyyəvidir. Buna xüsusi legirləmə vaxtını 2,1-3,1 dəq/sm<sup>2</sup> artırıqda, materialın kütlə köçürməsinin K kəmiyyəti və əmsalının kəskin dəyişməsi dəlalat edir ( $\tau=1,1$ dəq/sm<sup>2</sup>-da  $k=9,0\%$ ,  $\tau=6,1$ dəq/sm<sup>2</sup>-da  $k=2,1\%$ ). Bu, 55% $Al_2O_3$ -45%NbN ərintisi üçündür. Emalın xüsusi vaxtını 4,1 dəq/sm<sup>2</sup>-dan çox artırıqda, möhkəmləndirilmiş qatın formalaşma xarakterinin dəyişməsi müşahidə olunur (şəkil 1 a,b). Bu halda katodun kütləsi ilkin haldakından az olur. Bu emal vaxtını artırıqda katodun səthinin kövrək dağılması ilə əlaqədardır. Eyni zamanda  $15Al_2O_3 - 85NbN$  materialı ilə EQL-də katodun kütləsi fasiləsiz artır. 5,1-6,1 dəq/sm<sup>2</sup> xüsusi legirləmə vaxtında katodun kütləsi sabitləşir, verilən şəraitlər

üçün olan bir qədər daimi qiymətə yaxınlaşır (arqonda bişirmədə  $\Delta K=1,5 \cdot 10^{-4} \text{sm}^3$  və azotda bişirmədə  $\Delta K=0,8 \cdot 10^{-4} \text{sm}^3$ ). Bütün emal vaxtı intervalında köçürmə əmsalının işarəsi müsbət qalır.



**Şəkil 1.** Arqonda (a) və azotda (b) bişirilmiş kompozisiyalarla poladın EQL-də katodun (I) və anodun (II) kütləsinin dəyişməsinin emal vaxtıdan asılılığı: 1-55 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-45NbN; 2- NbN; 3- 8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-92ZnN; 4-45 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-55ZnN



**Şəkil 2.** NbN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ni (V) kompozisiyaları ilə poladın EQL-də katodun (I) və anodun (II) kütləsinin emal vaxtıdan asılılığı: 1-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-15NbN-70V; 2-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-45NbN 40V; 3-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-45NbN-40Ni; 4-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-65NbN -20N

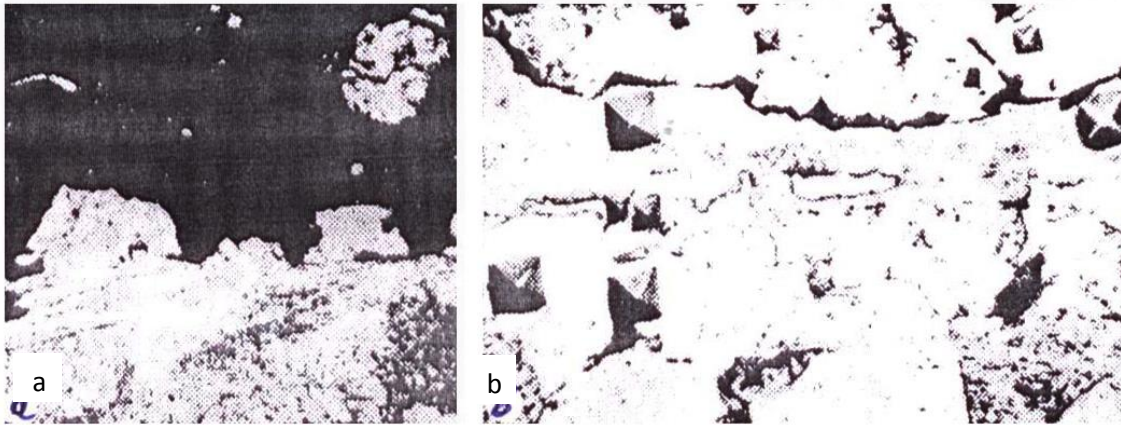
Möhkəmləndirilmiş qatın elektrodun tərkibində keçirməyən fazanın miqdarından asılılığı eksperimental olaraq tədqiq olunan ərintilərin tərkibindən asılı olaraq onların fiziki xassələrinin dəyişməsilə təsdiqlənir. Müəyyən olunmuşdur ki, konsentrasiya intervalda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ün miqdarını 0-55 həcm- %-dək artırıdığımızda, elektrik müqaviməti kəskin dəyişir (artır), lakin onların istilik ötürməsi aşağı düşür. Bu, yüksək temperaturlarda elektrodun işçi səthlərinin materialının istilik dözümünün azalmasını və onların kövrəkliyinin artmasını şərtləndirir.

Eroziya məhsullarının təhlili göstərir ki, keçirməyən fazanın miqdarını artırıdığımızda, eroziya məhsullarının miqdarı kövrək dağılma hesabına artır. Verilən kompozisiyaların bişirilməsində mühafizəedici mühitin tərkibindən asılı olaraq möhkəmləndirilmiş qatın formalaşmasında əhəmiyyətli dəyişikliklər müşahidə edilir. Arqonda bişirilmiş kompozisiyalarla EQL-də k-τ və Δk-τ kinetik asılılıqlarının eyni xarakterinə baxmayaraq (şəkil 1,a,b), azotda bişirilmiş kompozisiyalarla emalla müqayisədə, köçürmə əmsalı 1,6-2,1 dəfə yuxarıdır, onun sabitlik sahəsində cəm artımı üç dəfə böyükdür. Bu, kompozisiyaların azotda bişirilməsində NbN dənələrinin böyük oksidləşməsilə və yeni fazanın yaranması ilə əlaqədardır. Nitrid dənələrinin əhəmiyyətli oksidləşməsi və yeni fazanın yaranması xüsusi elektrik müqavimətinin artmasına (arqonda bişirilmiş anoloji kompozisiyalara nisbətən on dəfə yuxarıdır), termiki genişlənmə əmsalına və habelə eroziya prosesində kövrək dağılma payına və anodun materialının köçürmə şəraitlərinin pisləşməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Ni və V-un əlavəsilə NbN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozisiyaları ilə poladların EQL-də möhkəmləndirilmiş qatın formalaşma şəraiti yaxşılaşır (şəkil 2). Legirləmə vaxtını artırmaqla katodun kütləsi, xüsusən tərkibində böyük miqdarda Ni və V olan ərintilərlə EQL-də fasiləsiz olaraq yüksəlir. Bu, legirləyici elektrodun plastikliyinin artması və həmin elektrodun səth qatlarında kövrək dağılmanın payının azalması ilə əlaqədardır. Qeyd etmək lazımdır ki, katodun kütləsində Ni və V-un miqdarı artıqca

kövrək dağılma yüksəlir. Vanadiumun əlavəsilə kompozisiyalardan anodun materialının eroziyası, eyni miqdarda Ni olan kompozisiyalardan hazırlanan anodun materialına nisbətən yuxarıdır. Lakin nikel təşkeledici kompozisiyalarla EQL-də emal olunan səthin təmizliyi  $\nabla 5$ , vanadium təşkeledicilərininki isə  $\nabla 4$  təşkil etmişdir. Aydınır ki, göstərilən kompozisiyalardan hansınısa üstünlük təşkil edən seçimi yalnız keyfiyyət xarakteristikalarının (bərkliyin, bütövlüyün, altlıqla ilişmənin möhkəmliyinin) təhlili əsasında həll oluna bilər.

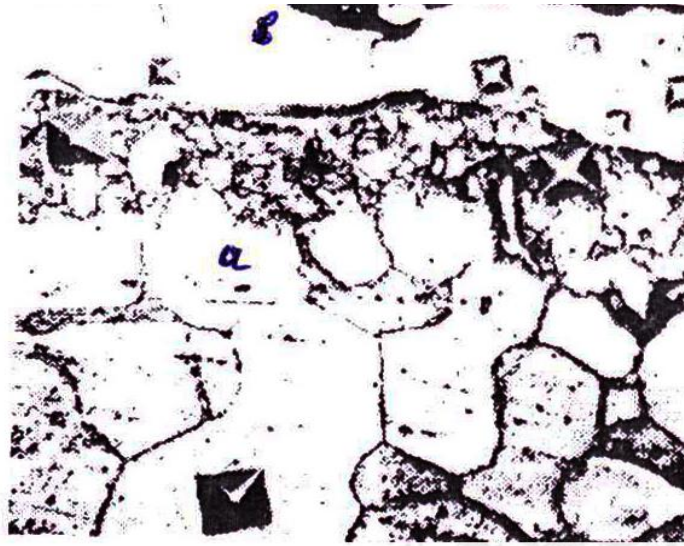
Polad 35-in NbN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V və NbN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ni ərintilərilə EQL-də möhkəmləndirilmiş qatının mikrostrukturu çəkilir (şəkil 3 və 4) və nümunələrin kəsiyi üzrə mikrobərkiyin paylanma ayrılıqları qurulur (şəkil 3.5). Metalloqrafik analizlərin məlumatlarına görə, hər iki halda möhkəmləndirilmiş qatın strukturu aşılınmayan fazadan – ağ qatdan, müxtəlif disperslikli işıqlı qlobulyar ünsürlü boz fazanın sahələrindən və termiki təsir zonasından ibarətdir. NbN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V kompozisiyalarından olan elektrodlarla EQL-də poladın səthində boz fazanın və ağ qatın bütövlüyü 15-35%-dən çox olmadan təşkil edir, lakin NbN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ni kompozisiyasından olan elektrodlarla EQL-də ağ qatın bütövlüyü 95-100%-dir. Möhkəmləndirilmiş qatın və anod materialının eroziya məhsullarının metalloqrafik mikrodyurometrik analizlərinin məlumatlarına əsasən fərz etmək olar ki, boz faza özündə əsasən legirleyici elektrodun materialının kövrək dağılma məhsullarını əks etdirir, özü də bunlar katoda köçürüldükdə müxtəlif dərəcədə qızırlar və oksidləşirlər.



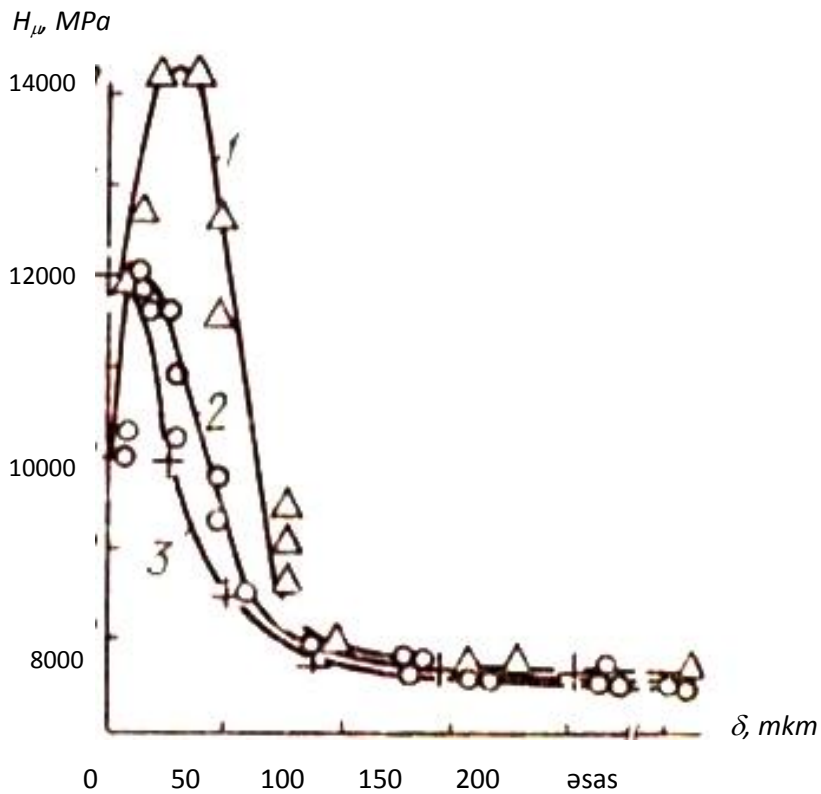
**Şəkil 3.** 15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-45 NbN-40V tərkibli elektrodlarla EQL-dən sonra şlifin müxtəlif sahələrdə 35markalı poladın mikrostrukturu (x400): a-möhkəmləndirilmiş qatın strukturunda qlobulyar ünsürlər (boz), b-dənələrin sərhədi boyunca bərk ünsürlər

55-60 mkm qalınlıqlı boz faza NBN –Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V-la EQL-də möhkəmləndirilmiş qatın strukturunda üstünlük təşkil edir və tərkibin qeyribirinciliyi, böyük miqdarda çatlarla, qopmalarla, koğuşlarla və əsasın aşağıdakı qatları ilə rəhbərlik etməyən möhkəmliyi ilə səciyyəlidir (şəkil 3, a,b). O, uyğun olaraq mikrobərkiyi 3000±200, 12500±1500 və 6100±300 MPa mikrobərkiyə malik olan kövrək işıqlı-boz sahələrdən, tünd-boz təşkeledicidən və işıqlı-sarı qlobulyar ünsürlərdən ibarətdir. Qıyıcımın termiki təsir zonalı boz qatın sərhəddində əhəmiyyətli miqdarda nöqtəvi – dispers və tünd - boz dairəvi ünsürlər müşahidə olunmuşdur. Onların miqdarından və dispersliyindən asılı olaraq boz qatın sərhədinin və termik təsir zonasının mikrobərkiyi sabit qalmır, 1900-4200MPa intervalında dəyişir. Qıyıcımın termiki təsir zonasında 50-80mkm dərinlikdə nümunənin bütün eni üzrə əsasən ferrit dənələrinin sərhədi boyunca işıqlı ayrılmalar seçilir (şəkil 3,b). Onların mikrobərkiyi 5000± 100 MPa təşkil edir. Onların forması, yüksək bərkliyi və polad 35-in möhkəmləndirilmiş qatının mərkəzində yerləşməsi, maye və qazəmələgətirici eroziya olunmuş fazaların parçalanma və oksidləşmə fazaları ilə həmin ünsürlərin legirlənməsi nəticəsində keçmiş perlit sahələri əsasında onların yaranma imkanlarına dəlalət edir.





Şəkil 4.  $15Al_2O_3-45NBN-40Ni$  tərkibli elektrodla EQL-dən sonra 35 markalı poladın mikrostrukturunu (300): a-əsas, b-möhkəmləndirilmiş qat



Şəkil 5.  $Al_2O_3-45NBN-V$  (1),  $Al_2O_3-45NBN-Ni$  (2),  $NBN$  (3) kompozisiyalarla EQL-dən sonra səth qatının bərkliyinin dəyişməsi

NbN- $Al_2O_3$ -Ni tərkibli elektrodlarla polad 35-in emalı halında möhkəmləndirilmiş qatın struktur təşkilçisi əksər hallarda zərif aşılaraq faza-qalınlığı 40-50 mkm, mikrobərkliyi  $6200 \pm 500$  MPa olan ağ qatdır (şəkil 5). Mikrobərkliyin dəyişmələrinə baxmayaraq 5000-9250 MPa intervalında ağ qat yüksək bütöv ik, əsasən kip toxunma və onunla kifayət qədər ilişmə ilə səciyyələnir. Ağ qatın xarici tərəfindən boz qat müəyyən olunur, o şlifi hazırladıqda əhəmiyyətli

ovxalanır (şəkil 5) və  $10700 \pm 300$  MPa mikrobərklikli tünd-boz və işıqlı-sarı sahələrlə təqdim olunur. Ağ qatın və qığılıcının termiki təsir zonasının sərhəddində səthin mikrobərkliyi  $1700 \pm 100$  MPa –ı ötmür, lakin əsasın mikrobərkliyini ( $1200 \pm 100$  MPa) üstələyir. Səciyyəvi haldır ki, qığılıcının termiki təsir zonasında perlit koloniyaları müşahidə olunmur. Sonuncu yalnız 50-80 mkm dərinlikdə aşkarlanır (legirləyici elektrodun tərkibindən asılı olaraq) və boz və ağ qatların boyunca zəncirvari yerləşir. Güman ki, bu effekt katodun səth qatlarında karbonun yenidən paylanması ilə əlaqədardır, ağ qatda və xırda dispers ayırmalar sahəsində onun maksimal konsentrasiyası ilə müşayiət olunur.

Karbonun yenidən paylanma effekti, mümkündür, termik gərginliklərin təsiri və əsasın materialı ilə maye və qaz əmələgətirici fazaların qarşılıqlı təsirinin nəticəsidir. Digər tərəfdən, maye və qaz əmələgətirici fazaların yaranma prosesində legirləyici materialın komponentlərinin parçalanması və yaranan fazaların dəmirə qarşılıqlı təsiri baş verir. Burada dəmir Nb, V kimi karbid əmələgətirici elementlərlə zənginləşir. NbN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Ni (V) kompozisiyalarının komponentlərinin qarşılıqlı təsirinin maye fazalı və qaz əmələgətirici məhsullarının tərkibində onların iştirakı mass - spektrometrik, mikrorentgenspektral və rentgenfaz analizlə müəyyən edilmişdir.

Qığılıcının termiki təsir zonasının xüsusiyyəti həm də ferrit dənəsinin xırdalanması və onun formasının dəyişməsidir. Termiki təsir zonasının belə quruluşu qısamüddətli qızma və sonrakı kəskin soyuma proseslərinin fasiləsiz növbələşmələrinin təsiri altında və habelə qızdırmada faza çevrilmələrin prosesində dənənin böyüməsinin qarşısını alan artıq bərk fazaların poladın səth qatında yaranması nəticəsində formalaşa bilər.

**Nəticələr:** 1. Poladların EQL-ində legirləyici elektrodun materialı kimi Ni və ya V əlavəsilə NbN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozisiyası tədqiq olunmuşdur. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miqdarının 15 həcm%-dən yuxarı olması möhkəmlənmiş qatın formalaşma şəraitini pisləşdirir. Bu, elektrodun materialının termiki davamlılığının azalması ilə şərtlənir. Arqonda bişirilmiş kompozisiyalarla EQL-də köçürmə əmsalı azotla bişirilmiş kompozisiyalarla emaldakına nisbətən yuxarıdır, onun stabilliyi sahəsində isə cəmi artım üç dəfə çoxdur.

2. Ni-in əlavəsilə NbN - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozisiyaları ilə EQL-də alınmış möhkəmləndirilmiş qat həmin miqdarda V - un əlavəsilə olan kompozisiyalarla EQL-də alınmış möhkəmləndirilmiş qata nisbətən daha yüksək bütövlüyə, əsasa kip sıxılmaya və onunla möhkəm ilişməyə malikdir. EQL prosesində katodun səth qatlarında karbonun yenidən paylanması baş verir. Bu halda onun maksimal konsentrasiyası ağ qatda olur və nəticədə ferrit dənəsinin xırdalanması və onun formasının dəyişməsi müşahidə olunur.

### **Ədəbiyyat**

1. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. М.: Справочник, Металлургия, 1996, 556 с.
2. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев: Наук. думка, 1986, 220 с.
3. Огнеупоры для космоса. Справочник. М.:Металлургия, 1997, 264 с.
4. Черепанов А.М., Тресвятский С.Г. Высокоогнеупорные материалы и изделия из окислов. М.:Металлургия, 1984, 246 с.
5. Техника высоких температур./Под ред.И.Э.Кемпбелла. М.:Изд.-во иностр. лит. 1999, 593с.

*Tövsiyə edib: t.e.d., prof. A.T.Məmmədov*