

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TANK ƏLEYHİNƏ ƏL QUMBARAATANIN REAKTİV OYMAĞININ DİFFUZIYA METALLAŞDIRILMASI İLƏ ETİBARLIĞININ TƏMİN EDİLMƏSİ

İxtisas: 3328.01 - Xüsusi əməliyyatlar texnologiyası

Elmi sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Şamxal Azər oğlu Əsədov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universiteti PHŞ-nin “Xüsusi texnologiyalar və avadanlıqlar” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov

Rəsmi opponentlər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Mürsəl İldırım oğlu Əliyev

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, professor
Əsəd Rüstəm oğlu Rüstəmov

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, baş elmi işçi
İradə Həmid qızı Əbdürrəhmanova

Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universiteti PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.09 Dissertasiya Şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: texnika üzrə elmlər doktoru, professor

_____ **Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov**

Dissertasiya şurasının
elmi katibi: texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

_____ **Füzuli Rəsul oğlu Rəsulov**

Elmi seminarın sədri: texnika üzrə elmlər doktoru, professor

_____ **Vaqif Abbas oğlu Abbasov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir dövrdə hərbi-sənaye komplekslərinin dayanıqlı inkişafı ölkələrin milli təhlükəsizliyi və texnoloji suverenliyi ilə birbaşa əlaqəlidir. Xüsusilə, Azərbaycan Respublikasının müdafiə sənayesi sahəsində rəqəbat qabiliyyətinin artırılması və strateji üstünlüyün qorunması üçün yerli istehsalatda yüksək texnoloji həllərə əsaslanan tədqiqatlara ciddi ehtiyac duyulur. Xüsusi təyinatlı məhsulların istismar müddəti ərzində etibarlılığının və funksional davamlılığının təmin olunması bu istiqamətdə aparılan mühüm elmi-texniki problemlərdən biridir.

Bu kontekstdə, 40 mm-lik tank əleyhinə əl qumbaraatanının (TƏQ) əsas hissəsi sayılan reaktiv oymağın diffuziya metallaşdırılması ilə etibarlılığının təmin edilməsi məsələsi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Belə ki, 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin işçi səthi atış zamanı yüksək temperatur və təzyiqlərə məruz qalaraq zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki yeyilmə səbəbindən tez sıradan çıxır və daxili ballistika xüsusiyyətlərini zəiflədir. Hal-hazırda 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin etibarlılığını təmin etmək üçün istifadə olunan yüksək keyfiyyətli və istiliyədavamlı poladlar iqtisadi baxımdan sərfəli deyil.

Bu problemin səmərəli və elmi əsaslandırılmış texnologiyalarla həlli, xüsusən də xrom və nikel əsaslı kompleks örtük elementləri əsasında vakuumda diffuziya metallaşdırma ilə reaktiv oymağın işçi səthinin möhkəmləndirilməsi və etibarlılığının təmin edilməsi, həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan məqsədəuyğundur. Belə yanaşma ilə 40 mm-lik TƏQ-in funksional göstəriciləri əhəmiyyətli dərəcədə artırılır, istismar dövründə etibarlılıq təmin olunur və yerli istehsalatda innovativ texnologiyaların tətbiqi genişlənir. Bütün bu amillər tədqiqat mövzusunun həm nəzəri, həm də praktiki baxımdan aktual olduğunu təsdiq edir.

Araşdırma Azərbaycan Texniki Universitetinin “Xüsusi texnologiyalar və avadanlıqlar” kafedrasının “Xüsusi təyinatlı məhsulların texnologiyası” laboratoriyasında və Fizika İnstitutunun

elmi-tədqiqat laboratoriyasında aparılmış, real istehsalat müəssisəsi olan İqlim EİM MMC-də sınaqdan keçirilmişdir.

Dissertasiya işində 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin müxtəlif növ yeyilmə mexanizmləri modelləşdirilmiş, yeni tribotexniki və struktur modellər təklif olunmuş, diffuziya qatının qalınlığının optimallaşdırılması və örtük parametrlərinin funksional xüsusiyyətlərlə əlaqələndirilməsi nəzəri və praktiki əsaslandırılmışdır. İşdə eksperimental nəticələrə əsasən etibarlılığı yüksək olan diffuziya örtükləri əldə olunmuş, onların mikrostruktur və mexaniki xassələri tədqiq edilmişdir. Tədqiqat nəticələri bir sıra beynəlxalq və yerli elmi konfranslarda təqdim olunmuş, həmçinin istehsalatda abrobasiya olunmuşdur.

Beləliklə, qeyd edə bilərik ki, baxılan problem çox aktualdır və bu istiqamətdə geniş diapazonda elmi tədqiqatların aparılması tələb olunur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. 40 mm-lik TƏQ-in əsas funksional hissələrdən biri olan reaktiv oymağın istismar etibarlılığını və uzunömürlülüüyünü artırmaq məqsədilə onun daxili səthinin xromnikel əsaslı diffuziya metallaşdırma üsulu ilə səthi möhkəmləndirilməsi və texnoloji cəhətdən səmərəli metodun işlənilib hazırlanmasıdır.

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı tədqiqat vəzifələri qarşıya qoyulmuşdur:

1. Reaktiv oymağın istismar zamanı qarşılaşdığı zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki yeyilmə mexanizmlərinin təhlil edilməsi və modelinin qurulması;

2. Reaktiv oymağın daxili səthinə vakuumda diffuziya metallaşdırma üsulları ilə örtük çəkmə prosesinin elmi əsaslarının işlənməsi;

3. Fərqli rejim parametrlərində diffuziya prosesi zamanı örtük qalınlığının və xətti ölçülərin dəyişməsinin tədqiqi, bu dəyişmələrin daxili ballistikanın funksional xüsusiyyətlərə təsirinin qiymətləndirilməsi;

4. Reaktiv oymaq üçün yeyilməyə və temperatur təsirlərinə davamlı diffuziya qatlarının əldə olunması və onların mikrostruktur, tribotexniki və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi;

5. Vakuumda diffuziya metallaşdırması nəticəsində alınan yeni örtüklərin sınaqdan keçirilməsi – laborator və stend sınaqları ilə etibarlılıq göstəricilərinin parametrlərinin qiymətləndirilməsi;

6. Alınan nəticələrin qiymətləndirilməsi və istehsalatda tətbiq imkanlarının araşdırılması;

7. Tədqiq olunan metodun praktiki tətbiqi üçün texnoloji təlimatın hazırlanması və bu üsulun bərpa və yeni istehsal proseslərində istifadəsinin mümkünlüyünün müəyyən olunması.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müdafiəyə aşağıdakı əsas müddəalar çıxarılır.

1. Reaktiv oymağın daxili səthinin zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki yeyilməsinin əsaslandırılması və aradan qaldırılması üsullarının təhlili.

2. Reaktiv oymağın etibarlılıq göstəricilərinin və iş qabiliyyətinin yüksəldilməsi üçün vakuumda diffuziya metallaşdırma üsulundan istifadə olunmasının nəzəri əsaslarının işlənilməsi.

3. Reaktiv oymağın vakuumda diffuziya metallaşdırılması üsulu ilə etibarlılığının yüksəldilməsi üçün yeni texnoloji prosesinin işlənməsi.

4. Örtük çəkilmiş hissələrin metalloqrafiyasının tədqiqi-faza tərkibi və strukturunun öyrənilməsi.

Tədqiqatın obyekti. 30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMΦA markalı xüsusi tərkibli poladlardan hazırlanmış tank əleyhinə əl qumbaraatanın reaktiv oymağı.

Tədqiqatın metodları və nəticələrinin etibarlılığı. Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlər laboratoriya və istehsalat şəraitində aparılan nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında həll edilmişdir. Tədqiqat, müasir avadanlıq, cihazlar və ölçü vasitələrindən istifadə etməklə, o cümlədən, ultrasəs, mikroradiodalğa defektoskoplarının tətbiqi ilə həyata keçirilmişdir. Materialların struktur analizi, faza tərkibi və metalloqrafiyasının tədqiqi müasir cihaz və avadanlıqlarla

təyin edilmişdir. Tədqiqatın nəticələrinin etibarlılığı, kompüterdən istifadə etməklə eksperiment nəticələrinin emal olunması və digər müəlliflərin nəticələrinin müqayisə edilməsilə təsdiqlənir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

1. 40 mm-lik TƏQ-i reaktiv oymaq hissəsinin sıradan çıxma səbəbləri araşdırılmışdır [14];

2. 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin işçi səthinin yeyilmə mexanizmi öyrənilmiş, yeni modeli təklif olunmuş və topoqrafiyası tədqiq olunmuşdur [15];

3. 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin etibarlılığının təmin edilməsində innovativ üsul kimi vakuumda diffuziya metallaşdırma metodu nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış və təcrübi olaraq tədqiq edilmişdir [12];

4. Vakuumda diffuziya metallaşdırılması zamanı reaktiv oymağın xətti ölçüsünün dəyişməsinin rejim parametrləri təyin olunmuş və onlar arasındakı asılılıqlar müəyyən edilmişdir [12];

5. xətti ölçülərin daha çox dəyişməsinə təmin edən diffuziya doyma rejimi optimallaşdırılmışdır [12];

6. etibarlılıq göstəriciləri yüksəldilmiş detalların metalloqrafiyası və strukturu öyrənilmişdir [9];

7. alınan diffuziya örtüklərinin tribotexniki və fiziki-mexaniki xarakteristikaları tədqiq edilmişdir [6];

8. Texnoloji proses üzrə 1 ədəd patentə (AzPatent No. A 2023 0076) müsbət rəy alınmışdır.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti və tətbiqi. Tədqiqatın nəzəri əsası xüsusi təyinatlı silah detallarından olan reaktiv oymağın müxtəlif növ yeyilmə proseslərinin elmi əsaslandırılması ilə seçilir. 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin vakuumda diffuziya metallaşdırma üsulu ilə səthi möhkəmləndirilməsi üçün təklif olunan yanaşma bu sahədə mövcud olan biliklərə töhfə verir. Tədqiqatda reaktiv oymağın yeyilmə mexanizmlərinin modeli qurulmuş, diffuziya örtüyünün qalınlığı, xətti ölçülərin dəyişməsi prosesləri arasındakı funksional asılılıqlar müəyyən edilmiş, həmçinin örtük strukturu və triboloji xüsusiyyətlər təhlil olunmuşdur. Bu yanaşma, vakuumda diffuziya proseslərinin optimal rejimlərinin elmi-praktiki əsaslarla seçilməsinə

imkan verir və digər oxşar detalların da səthi möhkəmləndirilməsi üçün baza rolunu oynaya bilər.

Tədqiqat nəticəsində işlənmiş xromnikel əsaslı vakuumda diffuziya metallaşdırma texnologiyası 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin funksional etibarlılığını və istismar dövrünü əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa imkan verir. Həmçinin, yüksək temperatur və təzyiqə məruz qalan digər xüsusi təyinatlı detalların bərpasında da bu texnologiyanın tətbiqi geniş imkanlar açır.

Tədqiqat işi, Azərbaycan Respublikası Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin İqlim EİM istehsalat müəssisəsində, Milli Aerokosmik Agentliyində və Elmi-Tədqiqat İnstitutunda aprobasiyadan keçmiş və texnoloji tətbiq üçün müəssisələrə təqdim edilmişdir. Bu baxımdan, dissertasiya işi yalnız nəzəri deyil, həm də praktiki əhəmiyyətə malikdir və ölkənin müdafiə sənayesində innovativ yanaşmaların tətbiqinə yönəlmiş əhəmiyyətli bir tədqiqat kimi qiymətləndirilə bilər.

Tədqiqat işinin materialları Azərbaycan Texniki Universitetinin XTB 050106-“Silah sistemləri mühəndisliyi” ixtisası üzrə bakalavr pilləsində, 7010006- “Silah sistemləri mühəndisliyi” ixtisası üzrə XTM 060001- “Atıcı, artilleriya və raket silahlarının istehsal texnologiyası”, XTM 060101- “Döyüş sursatları və məhvedici vasitələrin istehsal texnologiyası” və XTM 070106 “Xüsusi təyinatlı dron uçuş aparatlarının istehsal texnologiyası” ixtisaslaşması üzrə magistr pilləsində tədris olunan fənlərdə istifadə olunması tövsiyə olunur.

Aprobasiyası və nəşri. Dissertasiya işinin əsas müddəaları ölkədə və xaricdə keçirilmiş elmi-praktik konfranslarda və seminarlarda müzakirə olunmuş və bəyənilmişdir. İşin əsas məzmununu 15 məqalə və konfrans materiallarında dərc olunmuşdur. Onlardan 7-si elmi məqalə (2-si Beynəlxalq bazalarda indeksləşən xarici elmi jurnallarda, 5 məqalə isə AAK-ın siyahısına daxil edilmiş respublika jurnallarında), 8-i isə Beynəlxalq və respublika konfranslarında çap olunan məruzələrin tezisiidir. Çap olunan əsərlər dissertasiyanın mahiyyətini tam əks etdirir.

1. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Texniki Universiteti, 3-5 may Bakı -2018,

2. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Texniki Universiteti və Rusiya Federasiyası Metroloji Xidmət Elmitədqiqat İnstitutu “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər və perspektivlər” adlı Beynəlxalq Elmi-texniki konfransın materialları, 21-23 noyabr Bakı -2018,

3. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Texniki Universiteti, 6-7 may Bakı -2021,

4. “Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference materials, December 2-3, 2021, AzTU, Baku, Azerbaijan,

5. Programme of the technical scientific conference of undergraduate, master and phd students 29-31 March 2022, Moldova,

6. Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı, 4-5 may 2022-ci il, Bakı,

7. Azərbaycan Texniki Universitetinin “Xüsusi texnologiyalar və avadanlıqlar” kafedrasının genişləndirilmiş seminarlarında müzakirə edilmiş və İqlim EİM-də istehsalata tətbiq edilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işinin strukturunu titul səhifəsi – 404 işarə, mündəricat – 6369 işarə, giriş – 16458 işarə, I Fəsil – 45681 işarə, II Fəsil – 38628 işarə, III Fəsil – 62130 işarə, IV Fəsil – 35303 işarə, V Fəsil – 22957 işarə, nəticə – 5039 işarə, VI Fəsil – 35303 işarə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı – 26741 işarə, əlavələr, ixtisarlara və şərti işarələrinin siyahısı – 31035 işarə təşkil edir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 35 şəkil, 26 qrafik, 11 cədvəl, 152 adda ədəbiyyat siyahısı olmaqla mətni kompüterdə yazılmış 158 səhifə, şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 238387 işarədən ibarətdir.

İŞİN ƏSƏS MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın obyekti, tədqiqatın metodları və nəticələrinin etibarlılığı, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti və sənayedə tətbiqi, aprobeasiyası və tətbiqi struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi haqqında məlumatlar verilmişdir.

Birinci fəsildə 40 mm-lik TƏQ-in quruluşu, iş prinsipi və işləmə qabiliyyəti təhlil olunmuş, onun əsas konstruktiv xüsusiyyətləri və istifadə imkanları göstərilmişdir. Daha sonra TƏQ-in imtina halları və sıradan çıxma səbəbləri öyrənilmiş, mövcud çatışmazlıqlar müəyyən edilmişdir.

Fəsildə həmçinin reaktiv oymağın istehsal texnologiyası və ona qoyulan texniki tələblər izah olunmuşdur. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, mövcud texnologiya oymağın uzunömürlülüynü tam təmin etmir. Bu baxımdan, diffuziya metallaşdırma üsulu ilə reaktiv oymağın istismar davamlılığının artırılması imkanları əsaslandırılmışdır.

40 mm-lik tank əleyhinə əl qumbaraatanının (TƏQ) əsas hissələrindən biri olan reaktiv oymağın texniki xüsusiyyətləri, istismar şəraiti və mövcud istehsal texnologiyası geniş şəkildə araşdırılmışdır. Reaktiv oymaq detallı silah sisteminin etibarlılığına və funksional effektivliyinə birbaşa təsir edən əsas komponentlərdən biri kimi təqdim olunur. Bu qumbaraatanı müəyyən sayda atışa tab gətirmə qabiliyyəti kimi başa düşülür və prosesdən sonra reaktiv oymağın işçi səthi ekstremal iş şəraitində – yüksək təzyiq, istilik və təzyiq altında – yeyilmələrə, xüsusilə zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki-kimyəvi yeyilmələrə məruz qalır.

Mövcud istehsal prosesləri çərçivəsində kimyəvi örtüklərlə əldə olunan səthi keyfiyyətin və işləmə qabiliyyətinin uzunmüddətli istismar üçün yetərli olmadığı göstərilmişdir. Bu səbəbdən I fəsildə alternativ və daha dayanıqlı texnologiya kimi, xromnikel örtüklərlə

vakuumda buxarfazalı diffuziya metallaşdırıma texnoloji prosesi ilə səth möhkəmləndirilməsi əsaslandırılmışdır.

Silah və silah sistemlərinin sıradan çıxma səbəblərini və konstruksiyasının təkmilləşdirilməsi ilə bağlı Д.К. Чернов, М.М. Хрущов, М.А. Бабучев, М.Т. Калашников, В.А. Дегтярёв, Г.С. Шпагин, С.Г. Симонов, Н.Ф. Токарев, И.В. Кragельский və Ə.Г. Hüseynovun tədqiqatlarına istinad olunmuşdur. Bu tədqiqatlarda reaktiv oymağın zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki-kimyəvi yeyilmə xüsusiyyətləri, mikrobərkliklə bağlı müqavimət mexanizmləri sistemətik şəkildə araşdırılmışdır. Əlavə olaraq, zərbə-abraziv yeyilmə prosesləri silah hissələrinin tribologiyasında özünəməxsus rol oynayan D.K. Çernov fundamental işlərindən olan məlumatlarla təhlil edilmişdir. N.F. Tokarev isə iş qabiliyyətinin yüksəldilməsi məsələlərinə xüsusi diqqət yetirmişdir.

Diffuziya metallaşdırılması ilə etibarlılığın təmin edilməsi mövzusunda В.Н. Бугаев, К.А. Ачкасов, Ю.В. Мазаев, В.З. Сергеев, Е.А. Давиденко, Б.А. Богачев, həmçinin S.H. Babayev və Ə.Г. Hüseynovun elmi işləri nəzərdən keçirilmişdir.

Mövcud elmi ədəbiyyat analizi göstərir ki, 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsini yeyilməyə qarşı davamlılığının aşağı olması səbəbindən onlar nisbətən aşağı istismar göstəricilərinə malikdir. İri seriyalı istehsalda hazırlanan reaktiv oymaq detalları istismar zamanı tez sıradan çıxır və imtinalara səbəb olur. Barıt qazlarının intensiv qazlarının təzyiqi altında ekstremal şəraitdə işləyən reaktiv oymaq detalının sıradan çıxmasının əsas səbəbi zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki-kimyəvi yeyilmədir. Reaktiv oymağın istismar müddətinin uzadılması, “lülə və qolboru” qovuşmasında həm müxtəlif, həm də eyni möhkəmlilik həddinə malik olan örtüklərdən istifadə edilməsi ilə mümkündür. 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymağının işçi səthinə vakuumda xromnikəlləmə diffuziya metallaşdırılma üsulundan sonra səth qatında baş verən proseslər, həmçinin yüksək tribotexniki xüsusiyyətlərə malik layın idarəolunan şəkildə formalaşma şərtləri hələ də hərtərəfli öyrənilməmişdir. Bu, tədqiqatın məqsədini və qarşıya qoyulan əsas vəzifələri

müəyyənləşdirir. Buna görə də, xromnikelləmə əsasında vakuum diffuziya metallaşdırılmasının işlənməsi və tətbiqi, reaktiv oymağın işçi səthinin yeyilməyə qarşı davamlılığını artırmaq baxımından ən səmərəli istiqamətlərdən biri hesab etmək olar.

İkinci fəsildə vakuumba buxarfaz diffuziya metodu ilə reaktiv oymağın səth möhkəmliyinin artırılmasının nəzəri əsasları araşdırılmışdır. Bu məqsədlə ilk olaraq 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsi üçün kritik istilik prosesləri hesablanmış və işçi səthın temperatur dəyişmələri elmi baxımdan əsaslandırılmışdır. Daha sonra kritik istilik anında oymağın deformasiya vəziyyəti təhlil edilmiş, daxili səthın maksimal temperaturunun aşağı həddə minimallaşdırılması yolları göstərilmişdir. Araşdırmalarda barıt qazlarının reaktiv oymağın yeyilməsinə təsiri nəzərdən keçirilmiş, istilik ötürmə əmsalının analizi aparılmışdır.

Reaktiv oymağın kritik hədd vəziyyətini nəzərdən keçirək, belə ki, təmas səthində reaktiv oymağın materialı üçün icazə verilən maksimal temperatur T^* səviyyəsinə çatılmışdır.

Burada məqsəd, reaktiv oymaq detalının daxili səthində temperaturun paylanması müəyyən etməkdir. Koordinat sistemində istilik keçiriciliyi tənliyi (6 və 7) aşağıdakı ardıcılıqla alırıq.

İstilik keçiriciliyi nəzəriyyəsinə görə oymaq tipli detal üçün sərhəd şərtləri belə olacaq:

təmas sahəsində:

$$T=T^*$$

təmas olmayan sahədə:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} - \alpha_1 (T - T_c) = 0 \quad (1)$$

oymağın xarici səthində:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} + \alpha_2 (T - T_c) = 0 \quad (2)$$

burada,

$T(r, \theta)$ oymağın kritik istilik vəziyyətindəki temperatur funksiyasıdır; λ — oymağın materialının istilik keçiriciliyi; α_1 — oymağın daxili silindrik səthindən mühitin temperaturu ilə istilik ötürülməsi əmsalındır; T_c , α_2 — oymağın xarici silindrik səthindən istilik ötürülməsi əmsalındır. Materialın istilik keçiriciliyi əmsalları

oxu, dairəvi və radius istiqamətində eyni qəbul edilmiş, koordinatlardan və temperaturdan asılı deyil. Boru ilə mil arasındakı təmas sahəsində, $p(\theta, t)$ təzyiqi xaricində, $\tau(\theta, t)$ sürtünmə qüvvəsi, Amon-Ton və Kulon qanununa əsasən $\tau(\theta, t) = p(\theta, t)$ təmas təzyiqi ilə əlaqəlidir. $\tau(\theta, t)$ sürtünmə qüvvələri təmas sahəsində istilik ayrılmasına səbəb olur, bununla belə, bir vahid zaman ərzində ümumi istilik miqdarı sürtünmə gücünə proporsionaldır və θ nöqtəsində sahənin istilik miqdarı belə olacaq:

$$Q(\theta, t) = V\tau(\theta, t) = Vfp(\theta, t) \quad (3)$$

burada, V — barıt hissəciklərinin reaktiv oymağa nisbətən dövr ərzində orta sürəti. İstilik miqdarını iki hissəyə bölək: $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ — intervallara görə orta Q^* istilik axını, oymaqdakı təmas sahəsində temperaturu T^* ilə bərabərləşdirən; Q^* — oxşar istilik axını.

Oymaq poliar koordinat sisteminə $r\theta$ uyğunlaşdırırıq və koordinatları L_0 və L konsetrik dairələrinin mərkəzində R_0 və R radiuslarına seçirik. Oymağın daxili səthinin bəzi realizasiyalarını nəzərdən keçirək. İç konturun sərhədini aşağıdakı şəkildə təsvir edək:

$$\rho = R + \delta(\theta), \quad \delta(\theta) = \varepsilon H(\theta) \quad (4)$$

burada, ε -kiçik parametrdir, $\varepsilon = R_{max}/R$ -a bərabərdir $H(\theta)$ — kiçik parametrdən asılı olmayan funksiya; R_{max} -profilin ən yüksək mikroqüsurlu hündürlüyü).

Tutaq ki, $t = T - T_c$ artıq temperaturudur. Oymaqdakı temperaturu kiçik parametrlə görə ayrılma şəklində axtarıq, burada kiçik parametr X -in birinci dərəcədə yuxarı olan üzvlərini nəzərə almırıq.

$$t = t^{(0)} + \varepsilon t^{(1)} + \dots, \quad (5)$$

burada, $t^{(0)}, t^{(1)}$ — sıfır və birinci yaxınlaşma temperatur funksiyalarıdır.

Hər bir yaxınlaşma istilik keçiriciliyi nəzəriyyəsi üzrə diferensial tənliyə uyğundur. $r = \rho^{(\theta)}$ -də temperatur komponentlərinin qiymətlərini tapmaq üçün temperatur funksiyasını $r=R$ ətrafında sıra ilə açırıq.

İstilik keçiriciliyi nəzəriyyəsi üzrə vəzifənin sərhəd şərtləri, birinci dərəcəli kiçik miqdarlarla dəqiqliklə belə olacaq:

Sıfır yaxınlaşması üçün

$$r = R, t^{(0)} = T_0 - \text{Əlaqə sahəsində}$$

$$r = R, \lambda \frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} - \alpha_1 t^{(0)} = 0 - \text{Əlaqə sahəsindən kənarda}$$

$$r = R_0, \lambda \frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} + \alpha_2 t^{(0)} = 0 - \text{Birinci yaxınlaşma üçün}$$

$$r = R, t^{(1)} = -\frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} H(\theta) - \text{Əlaqə sahəsində}$$

$$r = R, \lambda \frac{\partial t^{(1)}}{\partial r} - \alpha_1 t^{(1)} = \left[\alpha_1 \frac{\partial t^{(0)}}{\partial r} - \lambda \frac{\partial^2 t^{(0)}}{\partial r^2} \right] H(\theta) - \text{Əlaqə sahəsindən kənarda}$$

$$r = R_0, \lambda \frac{\partial t^{(1)}}{\partial r} + \alpha_2 t^{(1)} = 0 - \text{Birinci yaxınlaşma üçün}$$

Hər bir yaxınlaşmada istilik keçiriciliyi nəzəriyyəsinin (1) tənliyini həll etmək üçün dəyişənlərin ayrılması üsulundan istifadə edəcəyik. İstilik keçiriciliyi nəzəriyyəsinin diferensial tənliyini hər bir yaxınlaşmada temperatur paylanması $t^{(0)} = \Phi^{(0)}(\theta)V^{(0)}(r)$, $t^{(1)} = \Phi^{(1)}(\theta)V^1(r)$ şəklində verərək təmin edəcəyik, burada temperaturun birqiymətli olması üçün $\Phi_{(0)}(\theta)$ və $\Phi_{(1)}(\theta)$ funksiyaları periodik olmalıdır.

Aralıq hesablamaları buraxaraq, sıfır və birinci yaxınlaşma üçün tapırıq:

$$t^{(0)} = C_{10} + C_{20} \ln r + \sum_{k=1}^{\infty} (C_{10}^{(k)} r^k + C_{20}^{(k)} r^{-k}) \cos k\theta + \sum_{k=1}^{\infty} (A_{10}^{(k)} r^k + A_{20}^{(k)} r^{-k}) \sin k\theta \quad (6)$$

$$t^{(1)} = C_{11} + C_{21} \ln r + \sum_{k=1}^{\infty} (C_{11}^{(k)} r^k + C_{21}^{(k)} r^{-k}) \cos k\theta + \sum_{k=1}^{\infty} (A_{11}^{(k)} r^k + A_{21}^{(k)} r^{-k}) \sin k\theta \quad (7)$$

$C_{10}, C_{20}, C_{10}^{(k)}, C_{20}^{(k)}, A_{10}^{(k)}, A_{20}^{(k)}$, sabitlərini təyin etmək üçün sıfır yaxınlaşmada məsələnin sərhəd şərtləri (1), (2) istifadə olunmuşdur. Eyni şəkildə, $C_{11}, C_{21}, C_{11}^{(k)}, C_{21}^{(k)}, A_{11}^{(k)}, A_{21}^{(k)}$ sabitlərini təyin etmək üçün birinci yaxınlaşmada məsələnin sərhəd şərtləri (1)–(7) istifadə olunmuşdur.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, barıt qazlarının yaratdığı yüksək temperatur, təzyiq və abraziv təsirlər reaktiv oymağın daxili səthində mikroçatların yaranmasına, materialın struktur-faza

tərkibinin dəyişməsinə və nəticədə səthin intensiv zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki-kimyəvi yeyilməsinə səbəb olur.

Üçüncü fəsildə müəllif tərəfindən aparılan eksperimentlərdə əsas məqsəd reaktiv oymağın resurs və etibarlılığını artırmaq üçün nəzəri və eksperimental tədqiqatların düzgün istiqamətdə qurulması olmuşdur. Eksperimental tədqiqatlar diffuziya metallaşdırma proseslərinin xüsusiyyətləri, örtüklərin alınma şəraiti, onların fiziki-mexaniki xassələri, diffuziya qabiliyyəti, korroziyaya və tribotexniki xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Bunun üçün müasir vakuum qurğusu, metalqrafik və elektron mikroskopiya avadanlıqları, rentgenostruktur analiz sistemləri və mikrobərklik ölçmə cihazlarından istifadə edilmişdir.

Tədqiqat işləri Azərbaycan Texniki Universitetinin “Diffuziya metallaşdırma və Xüsusi təyinatlı məhsulların texnologiyası” laboratoriyasında müəllif tərəfindən vakuum diffuziya qurğusunda aparılmışdır (şəkil 1). Tədqiqat obyekti kimi 30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMΦA markalı xüsusi tərkibli poladlardan hazırlanmış 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsi seçilmişdir. Qurğu CHB-131/16H4 tipli vakuum kameralı müqavimətli qurğu prototipinin bazasında modifikasiya olunmuşdur.

Metalların, diffuziya zonasının və örtüklərin struktur elementlərinin öyrənilməsi üçün kimyəvi və elektrolitik aşındırma tətbiq edilmişdir. 30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMΦA poladlarından hazırlanmış nümunələr 4%-li HNO₃ spirt məhlulunda kimyəvi, nümunələr isə oksalat turşusu məhlulunda elektrolitik aşındırmaya məruz qalmışdır.

Metalloqrafik tədqiqatlar Olympus BX-61 modul mikroskopunda aparılmış, mikrostrukturlar DP12 rəqəmsal kamera vasitəsilə $\times 50$ – $\times 500$ böyütmələrdə qeydə alınmışdır. Paralel olaraq “Versa 3D” (FEI Company) skan edən elektron mikroskopunda (SEM) Z-kontrast rejimində (CBS-detektor) təsvirlər əldə edilmişdir.

Diffuziya qatlarının və örtüklərin qalınlığı sərhədə perpendikulyar 20 kəsikdə ölçülmüş, ərmiş sahələrin nisbi uzanması (K) və sahəsi (S) hər 5 mm-də təyin olunmuşdur. Rentgen dispersiya

mikroanalizi (EDS) EDAX Trident XM 4 spektrometri ilə nöqtəvi və xətt üzrə skan rejimində aparılmış, berilliumdan amerisiuma qədər elementlərin 1 mkm ayırdetmə dəqiqliyi ilə tərkibi müəyyən edilmişdir.



Şəkil 1. Vakumda diffuziya metallaşdırma qurğusu

Rentgenostruktur təhlil Bruker D8 ADVANCE ECO difraktometrində Bragg–Brentano həndəsəsində Cu-K α şüalanması ($\lambda=1,5406$ Å), Ni K β -filtri və SSD160 detektoru ilə aparılmışdır. Lazım gəldikdə, təbəqə-təbəqə analiz üsulu tətbiq olunmuşdur. Diffraktogrammalarda diffuziya zonası NaOH məhlulunda aşındırma ilə daha dəqiq aşkar edilmişdir. Səthi oksid təbəqələrin öyrənilməsi isə $0,5^{\circ}$ – 2° sürüşmə bucağı ilə sürüşən şüa üsulu ilə aparılmışdır. Faza analizi Diffrac.EVA 4.2.1 proqramı ilə həyata keçirilmişdir.

Səthin kələ-kötürlüyü 253 profiloqraf-profilometr ilə Γ OCT 2789-73 standartına uyğun olaraq Ra və Rz parametrlərinə görə

qiymətləndirilmişdir. Hər nümunə üzrə ən azı 6 ölçmə aparılmış, nəticələr orta qiymət kimi götürülmüşdür.

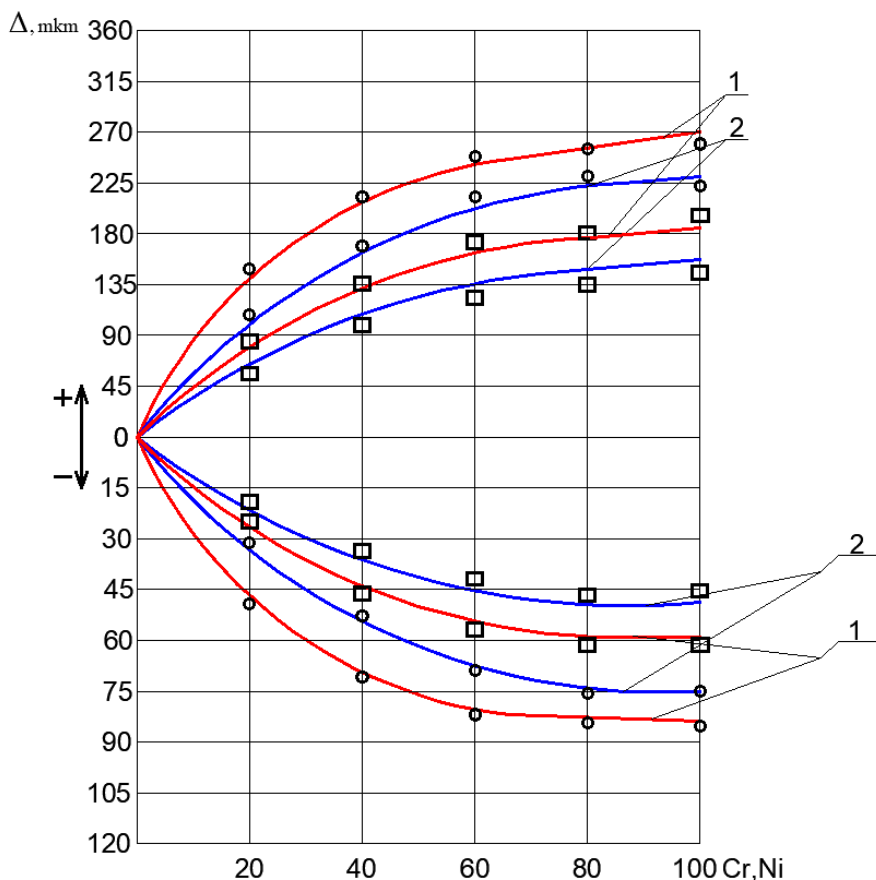
40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin bərkliyi Rokvell və Brinell üsulu ilə TKS-1M cihazında, mikrobərkliyi isə Vickers parametrinə əsasən ПМТ-3М cihazında aparılmışdır.

Xromnikəllənmiş reaktiv oymağın keyfiyyətinə nəzarət vizual baxışla başlanır. İşçi səth açıq-boz, parlaq və bərabər olmalıdır. Daha sonra diffuziya örtüyünün bütövlüyü 20%-li CuSO_4 məhlulunda sınaqla yoxlanılır. Əgər 2–5 dəqiqəlik batırmadan sonra səthdə mis çöküntüsü yaranarsa, bu, örtüyün zədələndiyini göstərir.

Yekun olaraq, 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq hissəsinin etibarlılığını artırmaq məqsədilə diffuziya metallaşdırılmasına əsaslanan eksperimental tədqiqat proqramı hazırlanmışdır. Prosesin vakuunda aparılması, xrom və nikel ovuntularından istifadə ilə buxarfazlı xromnikəlləmə metodikasının tətbiqi nəzərdə tutulmuşdur.

Dördüncü fəsilə reaktiv oymağın istismar şəraitini nəzərə alaraq müxtəlif növ yeyilmə analizinin tədqiqi aparılmışdır. Analizlərə əsasən deyə bilərik ki, reaktiv oymağın işçi səthinin sıradan çıxmasının səbəbləri olaraq reaktiv oymağın daxili səthinin qızması nəticəsində deformasiya olunması, hissələrin zərbə-abraziv, termoplastik və mexaniki-kimyəvi yeyilməyə məruz qalması nəticəsində detalların həndəsi ölçülərinin dəyişməsi, qalıq gərginliyinin yaranması, austenitin ayrı-ayrı fazalara parçalanması və s. olduğu müəyyən olunmuşdur. Reaktiv oymağın işçi səthinin yeyilmiş hissələrində kiçik qüsurlarla yanaşı ölçüləri, 250-300 mkm-ə çatan çuxurlar və çatlar müşahidə edilir. Analitik metodlarla təhlil zamanı müəyyən edilmişdir ki, oymağın işçi səthin yeyilməsinin orta statistik qiyməti 100-150 mkm arası dəyişir.

Tədqiqat zamanı nümunə detalların xromnikəlləmə ilə etibarlılığı və səthi bərkliyi artırılmış, qarışığın optimal tərkibi təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir. Diffuziya örtüyündə hər iki elementin eyni vaxtda çökdüyü kompleks qarışıq işçi səthə tətbiq olunmuşdur.

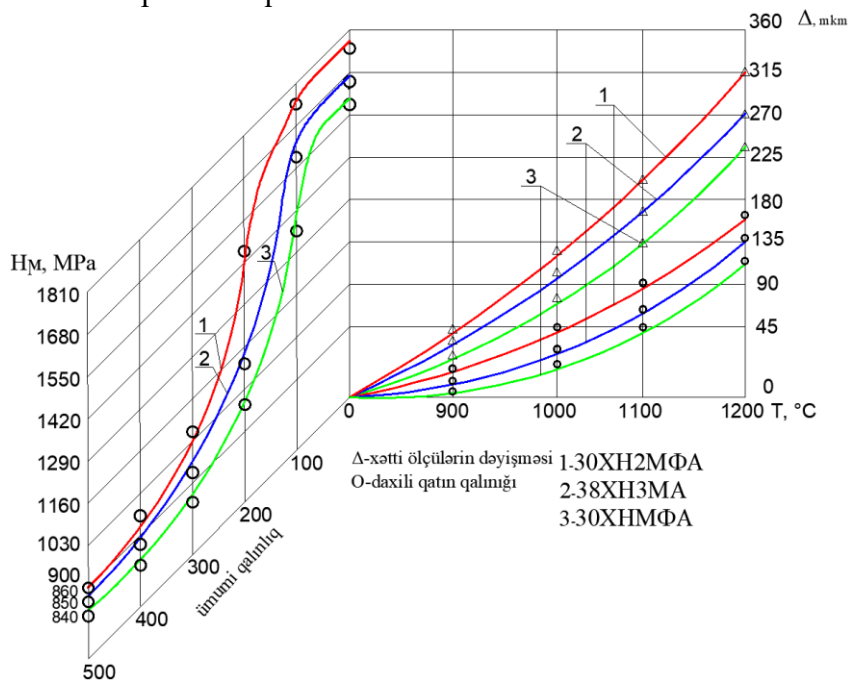


Qrafik 1. Diffuziya xromnikelləmə 30XH2MΦA polad nümunə detalın xətti ölçülərinin dəyişməsinə və qatın qalınlığının, qarışıqın tərkibindəki xrom və nikelin miqdarının dəyişməsinin təsiri ($T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau = 4\text{ saat}$):
1- vakuumda buxarfazalı üsul, 2-qazfazalı üsul
O-O xrom; □-□ nikel

Qeyd etmək lazımdır ki, hissələrin xətti ölçülərində xrom və nikelin miqdarı, digər şərtlər eyni olduqda, buxar-fazalı xromnikelləmə zamanı qarışıqda xromun 65 %-dən, həmçinin nikelin miqdarının 35 %-dən çox artması nümunə detalların səthinin

keyfiyyətinin pisləşməsinə səbəb olur. Nikelin miqdarı artdıqda müsbət nəticə vermir. Buxarfazalı xromnikelləmə zamanı bütün hissələrdə xətti ölçülərin diffuziya qatının maksimum dəyişməsi qarışıqda 60 % xrom, 35 % nikel və 5 % NH_4Cl olduqda alınır.

Buxar faza üsulu ilə diffuziya metallaşdırılmasının tədqiqinin nəticələri qrafik 1 və 2-də təqdim olunur. Buradan aydın olur ki, örtük qatının xətti ölçülərində artımın çökdürmə temperaturundan asılılığı parabolik və hiperbolik qanuna tabedir.



Qrafik 2. Buxar faza üsulu ilə diffuziya metallaşdırılmasında xətti ölçülərin, daxili qat qalınlığının, temperaturdan və mikrobərkliyin ümumi qatın qalınlığından asılı olaraq dəyişməsi ($\tau = 5$ saat)

Legirli elementlər ilə doyurulmuş səth ilə daxili səthin göstəriciləri 30-90 μm təmin edir. Səthin mikrobərkliyi 17000-18000 MPa olur ki, emaldan sonra hissələrin mikrobərkliyi 2 dəfə

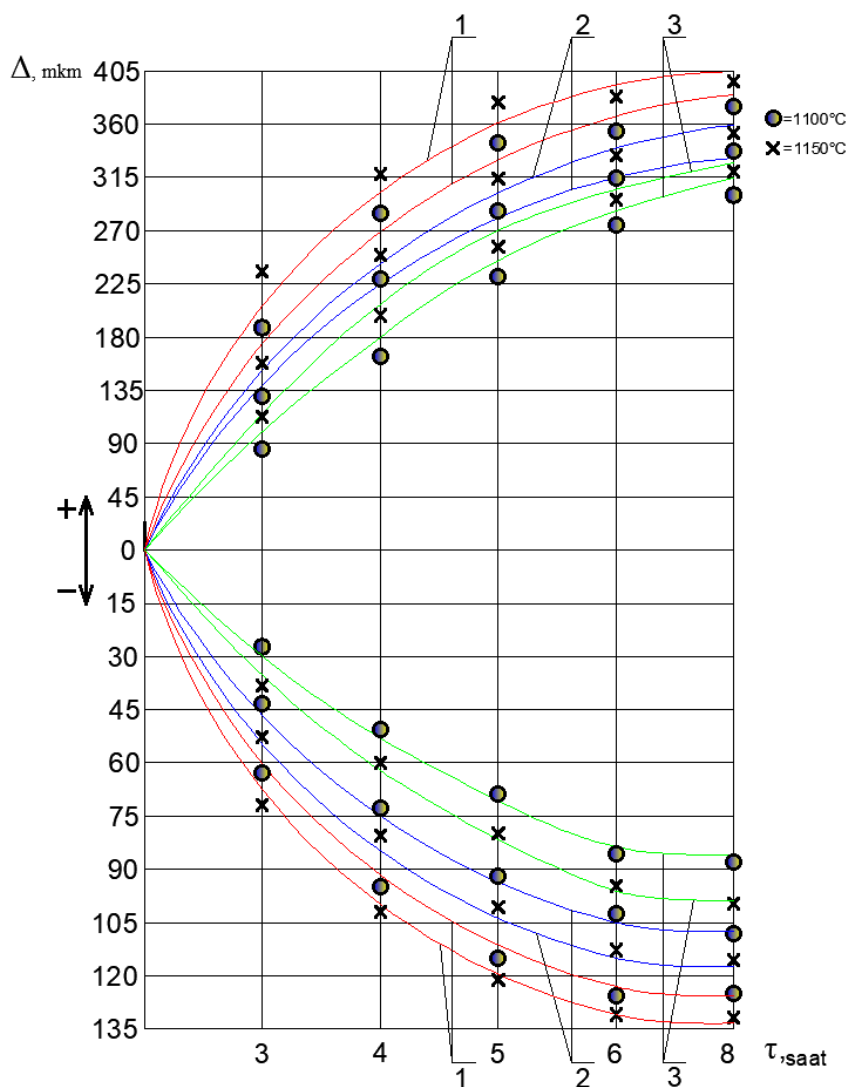
göstərir ki, örtük çəkilməmiş hissələrin mikrobərkliyi 2-dəfə artır (Qrafik 2).

Qrafik 2-də vakuumda buxarfazalı üsulla xromnikəlləmə zamanı detalların xətti ölçüləri və örtük qatının qalınlığının zamandan asılılıq dəyişməsi göstərilmişdir. Nümunələrdə örtük qatının qalınlığı 4, 5 və 6 saat ərzində intensiv surətdə artır, daha sonra texnoloji prosesin intensivliyi əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

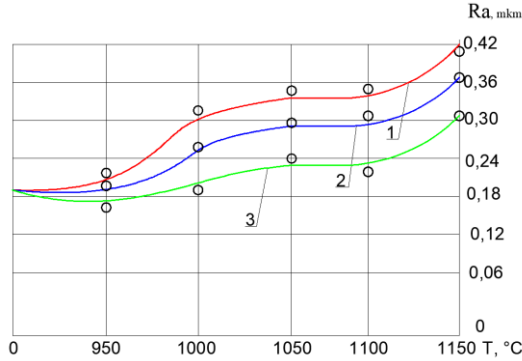
Xətti ölçülərin artımı 30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMΦA markalı poladlarda 5 saat müddətində maksimum qiymətlərə çatmışdır. Bu qiymətlər müvafiq olaraq 315, 270 və 250 mikrometr (mkm) təşkil edir (qrafik 2). Daxili səthin qalınlığı isə göstərilən maksimum qiymətlərə müvafiq olaraq 180, 135 və 115 mkm-ə qədər artmışdır.

Örtüyün keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün vakuumda buxar fazalı diffuziya metallaşdırılmasından istifadə edilmişdir (qrafik 3). 1100 °C və 1150 °C temperaturlarda və 4,5 və 6 saat müddətində 30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMΦA poladları üçün artım və xətti ölçülərinin dəyişməsi və diffuziya qatının qalınlığının dəyişməsi qrafik 3-də göstərilmişdir. Qrafik 3-ün analizi göstərir ki, 1150 °C temperaturda və 4 saat müddətində vakuumda diffuziya metallaşdırılma prosesinin aparılması məqsədə uyğundur. Qrafik 4-də, vakuumda buxar fazalı diffuziya metallaşdırılması prosesində səthin kələ-kötürlük göstəricilərinin temperaturdan asılılıq qrafiki göstərilmişdir.

Vakuumda buxar fazalı diffuziya metallaşdırılması prosesinin aparılması müddəti $t=4$ saatda diffuziya prosesindən əvvəl mexaniki emal nəticəsində səthin kələ-kötürlüyü $Ra=0,18$ mkm-ə çatdırılmışdır. Qrafik 4-də, 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq detalının istehsalında istifadə edilən poladların vakuumda buxarfazalı diffuziya prosesində kələ-kötürlüyün temperaturdan asılılığı göstərilmişdir. Qrafiklərdən görünür ki, bütün poladlar üçün temperaturun 1150 °C-yə kimi artırılmasında kələ-kötürlük sürətlə dəyişir və yuxarıda qeyd edilən poladlar üçün uyğun olaraq $Ra=0,18$ mkm, $Ra=0,26$ mkm və $Ra=0,32$ mkm kimi olur.



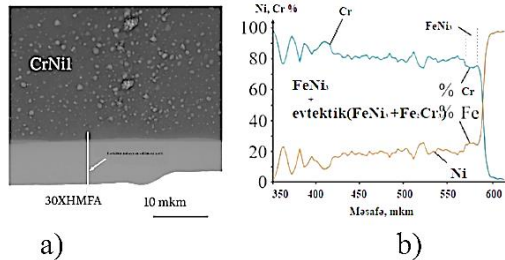
Qrafik 3. Vakuumdə buxarfazalı üsul ilə xromnikelləmədə detalların xətti ölçülərinin və örtük qatının qalınlığının dəyişməsinin zamandan asılılıq qrafiki:
1-(30XH2MΦA), 2-(38XH3MA), 3-(30XHМΦA)



Qrafik 4. Vakuumda buxar fazalı üsulla nanodiffuzion prosesində səthin kələ-kötürlüyünün temperaturdan asılılığı:
1-(30XH2MΦA), 2-(38XH3MA), 3-(30XHMFΦA)

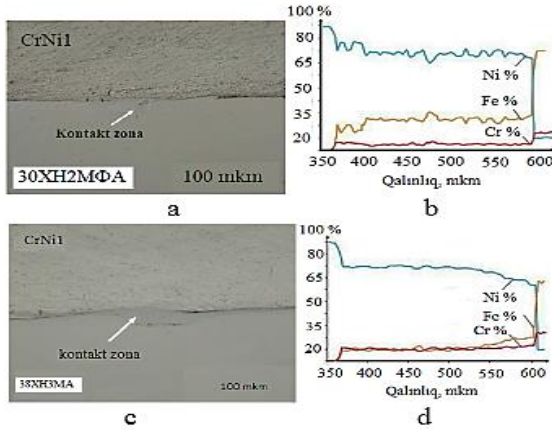
Beçinci fəsilə xrom-nikelləşdirmə ilə kompleks diffuziya metallaşdırılmasında Cr-Ni çoxkomponentli örtüklərə tətbiqi ilə bağlı praktiki reallaşdırılması çərçivəsində fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlər tədqiq edilmişdir.

Qatlar arasındakı sərhəddə struktur və xassələr diffuziya xrom-nikeldə 500-600 mkm qalınlıqlı qatlarla üç müxtəlif rejimdə öyrənilmişdir. Əldə olunan eksperimental məlumatların təhlili aşağıdakıları müəyyən etməyə imkan vermişdir. $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=4$ saat diffuziya neytrallaşdırılmasından sonra qatlar arasındakı sərhəddə nazik (20-25 mkm) lokal sahələr yaranır (Şəkil 2). Səthin mikrobərkliyi 40 GPa-dan çox olmur. $T=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=5$ saat rejimində diffuziya örtüyü əmələ gəlir.

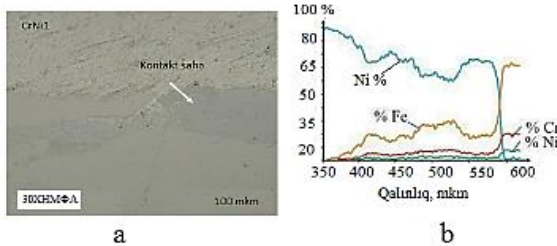


Şəkil 2. Vakuumda diffuziya metallaşdırılmasından sonra qatlar arasındakı sərhəddə əmələ gələn qatın təsviri (a) və kimyəvi elementlərin qalınlığa görə paylanması (b)

Şəkil 3-də, 30XH2MΦA detallarının diffuziya metallaşdırılmasında qalınlığı dəyişkən (5-80 mkm) keçid qatları formalaşır, nisbi uzunması 100%-ə yaxındır və Fe(Cr,Ni) + (Fe,Cr,Ni) fazalarının qarışığından, Fe₃Cr₂, Fe₂Ni₃ daxilolmaları və Fe(Cr₇Ni₂) kvazikristal fazasından ibarətdir. Qatların mikrobərəkliyi 14-15 GPa-ya çatır.

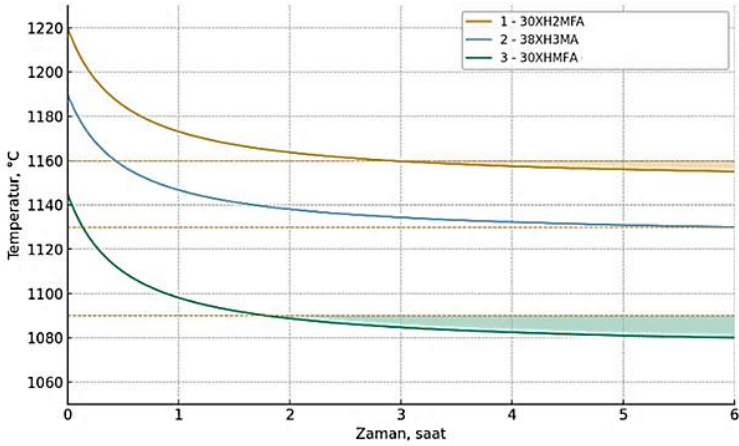


Şəkil 3. 30XH2MΦA və 38XH3MA metalının keçid zonasının strukturu (a) vakuumda diffuziya neytrallaşdırılmasından sonra və kimyəvi elementlərin qalınlığa görə paylanması



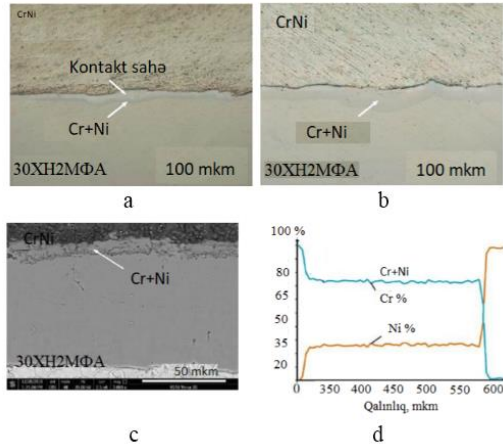
Şəkil 4. 30XH2MΦA metalının keçid zonasının strukturu (a) vakuumda diffuziya metallaşdırılmasından sonra və kimyəvi elementlərin qalınlığa görə paylanması

Təcrübələrin kəmiyyət nəticələri şəkil 5-də təqdim edilmişdir ki, buradan intermetallid fazası nüvələrinin yaranma dövrünün temperatur-vaxt asılılığının qarşılıqlı konsentrasiya diffuziyasına xas olan eksponensial qanuna tabe olduğu görünür.



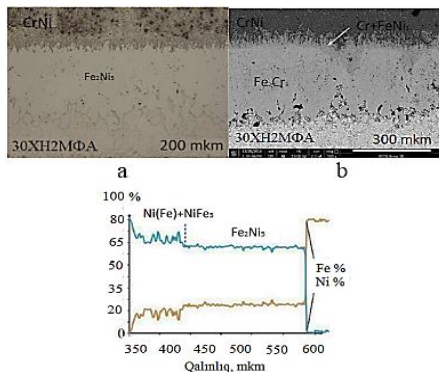
Şəkil 5. CrNi əsaslı kompleks diffuziya metallaşdırma üsulunda 1-30XH2MFA, 2-38XH3MA, 3-30XHMFA poladları ilə intermetallidlərin yaranmasının temperatur-vaxt asılılığı

DZ-nin formalaşmasının ilk mərhələsində diffuziya zonasının strukturunun yaranması kontakt metallarının müxtəlif sürətlə qarşılıqlı diffuziyası ilə başlayır.

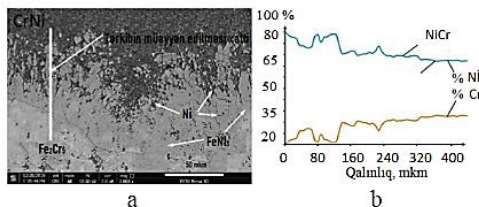


Şəkil 6. 1150 °C-də 4 saat (a), 5 saat (b) və 6 saat (c) müddətində diffuziya metallaşdırılmasından sonra metalın keçid zonasının qatlar arası sərhədinin struktur transformasiyası və DZ-nin qalınlığına görə kimyəvi elementlərin paylanması (d)

30XH2MΦA poladında (şəkil 7) karbonun olması DZ-nin faza tərkibinə təsir etmir, lakin bərk fazanın iştirakı ilə diffuziya qarşılıqlı təsirinin sürətini cüzi azaldır (şəkil 8). Bununla yanaşı, DZ-nin morfolojiyası da dəyişir: metalla metalın birləşməsi nəticəsində sərhəd boyunca “barmaqlar” formasında Fe_2Cr_5 intermetallid qatı yerləşir, lakin onların ölçüsü və uzanması 38XH3MA poladına nisbətən xeyli kiçikdir. Nikel tərəfdən DZ xrom və nikelin ikifazlı qatından ibarət olub onun sərhədi kiçik “alov dilləri” şəklindədir (şəkil 9). Bərk fazalı qarşılıqlı təsirdən sonra Fe_2Cr_5 ara qatının mikrobərkliyi təxminən 17-1700 GPa, $\text{Ni}+\text{FeNi}_3$ ara qatının mikrobərkliyi isə 14-16 GPa təşkil edir.

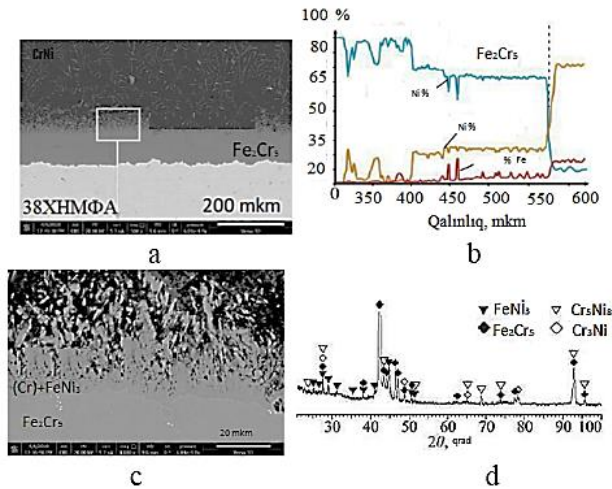


Şəkil 7. Struktur (a), SEM təsviri (b) və qatlar arası diffuziya qalınlığına görə kimyəvi elementlərin paylanması, $T=660\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=3$ saat



Şəkil 8. 30XH2MΦA poladında diffuziya metallaşdırılmasında xrom və nikel sərhədinin SEM təsviri və kimyəvi elementlərin paylanması

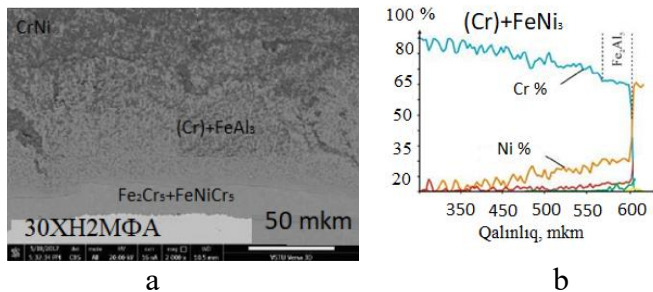
Cr-Ni sistemində bərk qarşılıqlı təsirdə diffuziya qarşılıqlı təsirinə xarakteri 38XHMFА poladında olduğu kimidir. DZ-nin nümunə ilə sərhədi nikel matrisində ayrılmış kiçik fraqmentlərlə birlikdə kiçik “alov dilləri” şəklindədir, polad tərəfdən isə Cr_3Ni_2 intermetallidi üçün xarakterik olan “barmaqlar” olmadan hamar sərhədə malikdir (şəkil 9, a, c). Bərk fazalı diffuziya rejimi ilə formalaşmış DZ-dən fərqli olaraq, nikel tərəfdən H-(Cr,Fe,Al) metastabil daxilolmaları aşkar edilməmişdir, polad tərəfdən ara qatın faza tərkibi isə dəyişməz qalmışdır və Fe_2Cr_5 intermetallidi ilə Cr_2Ni_7 və $(\text{Cr,Fe})_5\text{Al}_8$ daxilolmalarından ibarətdir (şəkil 9, d).



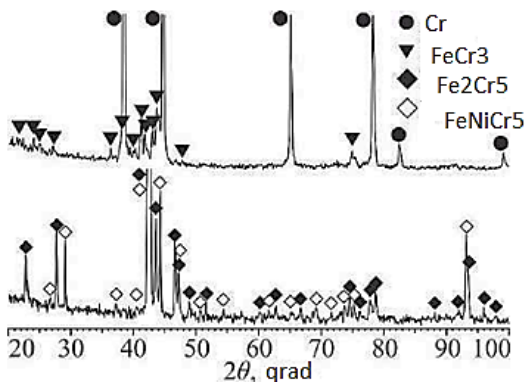
Şəkil 9. Vakuumda diffuziya metallaşdırılmasının SEM təsviri, 30XH2MFA poladı (c), onun qalınlığına görə kimyəvi elementlərin paylanması (b) və difraktogramma (d), $T=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=5$ saat

Vakuumda xrom-nikelləşdirmə ilə diffuziya neytrallaşdırılmasının Fe-Cr-Ni sisteminin örtüklərinin strukturu və faza tərkibi üzərində təsiri-(Fe-Cr-Ni) sisteminin örtüklərində $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -də diffuziya metallaşdırılmasından sonra 30XH2MFA markalı poladın ostenitik strukturlu əsası diffuziya proseslərinin gedişində bir sıra fərqlərə səbəb olur. Fe-nin γ -dəmirdə məhdud həllolma qabiliyyəti (5%-dən az) səbəbindən onun əsas materiala diffuziyası α -dəmir alt

qatının formalaşması ilə müşayiət olunur ki, bu qatın sərhədində Fe-nin konsentrasiyası kəskin dəyişir. 5 saatlıq saxlama müddətindən sonra örtüyün səth qatında Fe-nin konsentrasiyası 37 %-ə qədər azalmış, qalınlığı isə 400 mkm təşkil etmişdir (şəkil 13).



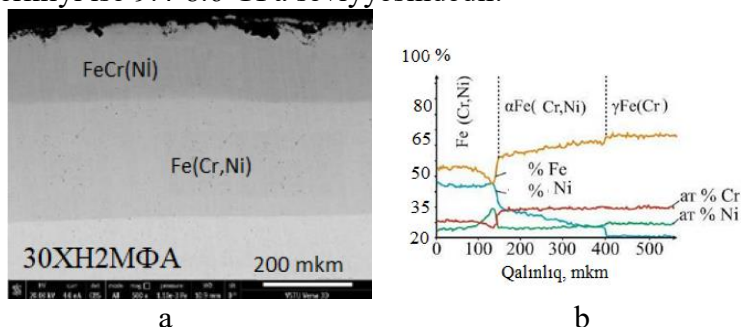
Şəkil 10. 30XH2MΦA birləşməsinin qatlar arası sərhədində M-nin SEM təsviri (a) və onun qalınlığına görə kimyəvi elementlərin paylanması (b), T=1150 °C, t=5 saat



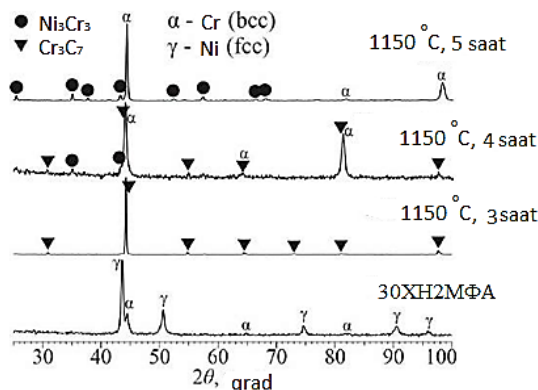
Şəkil 11. 30XH2MΦA poladının sərhədində M-nin difraktogramması, T=1150 °C, t=5 saat

SEM təsvirinin analizi (şəkil 11, a) örtüyün qatlı strukturunu olduğunu göstərdi. Rentgenostruktur və enerji dispersiya analizinin məlumatlarına əsasən (şəkil 11, b) müəyyən edilmişdir ki, üst qat Fe(Cr,Ni) intermetallidi əsasında bərk məhluldan ibarətdir (qalınlığı 150 mkm), aşağı qat isə α Fe(Fe,Cr,Ni) bərk məhluludur (qalınlığı 250 mkm) və Ni-nin miqdarı 30XH2MΦA poladına doğru tədricən azalır.

Kimyəvi elementlərin paylanması müşahidə olunan Ni konsentrasiyasının kəskin artımı (35 %-ə qədər) örtük qatlarının sərhədində β -fazasının formalaşması ilə əlaqədardır (şəkil 13, I nöqtəsi). Bu faza FeNi və CrNi intermetallidləri əsasında məhdudiyyətsiz bərk məhlula uyğundur və bu sahənin Ni ilə doyması üçün əlverişli şərait yaradır. Örtüyün mikrobərkliyi onun qalınlığı boyunca 18 GPa-dan 16 GPa-ya qədər tədricən azalır, polad əsasının mikrobərkliyi isə 9.4-8.6 GPa səviyyəsindədir.

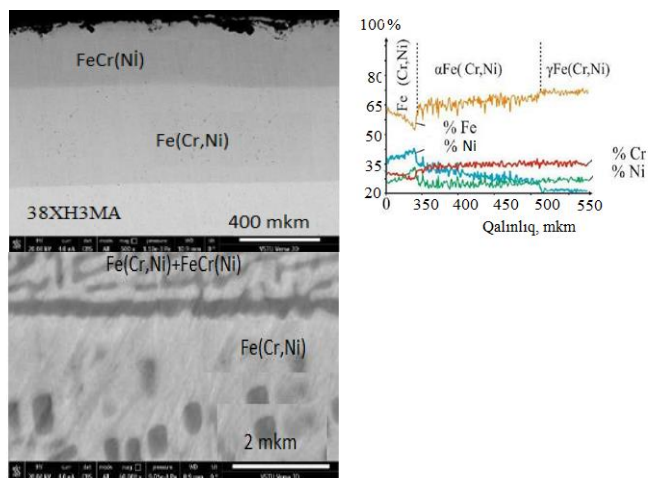


Şəkil 12. 30XH2MΦA poladında diffuziya xrom-nikelləşdirmədən sonra diffuziya örtüyünün strukturunun SEM təsviri, 1100 °C, 5 saat (a) və onun qalınlığına görə kimyəvi elementlərin paylanması (b)



Şəkil 13. 30XH2MΦA poladının səthindən (a) və diffuziya xrom-nikelləşdirmə örtüyündən çəkilmiş difraktogrammlar, T=1100 °C, t=5 saat

Kimyəvi tərkibin dəyişməsi strukturun ikifazlı sahəyə keçməsinə səbəb olmuşdur (şəkil 14). Bu, $\times 60000$ böyütmədə çəkilməmiş SEM təsvirində müşahidə olunan ikifazlı struktur ilə təsdiqlənir. Örtüyün səth mikrobərkliyi 17-18 GPa-ya qədər azalmış, poladın mikrobərkliyi isə 14-15 GPa təşkil etmişdir. 38XH3MA poladının örtüyünün strukturu və kimyəvi elementlərin qalınlığa görə paylanması, $T=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=5$ saat



Şəkil 14. Diffuziya örtüyünün strukturunun SEM təsviri və kimyəvi elementlərin qalınlığa görə paylanması, $T=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=5$ saat

Saxlama müddətinin daha da artırılması örtüyün qatlı strukturunun yox olmasına (3 saatdan sonra) və nümunənin bütün qalınlığı boyunca kimyəvi tərkibin bərabərləşməsinə (65% Cr və 35% Ni) səbəb olmuşdur (3 saatdan sonra).

Altıncı fəsildə 40 mm-lik TƏQ reaktiv oymaq detallarının səthinə tətbiq olunan vakuumda buxarfazlı diffuziya xromnikelləmə örtüklərinin triboloji və korroziya davamlılığı üzrə kompleks tədqiqat nəticələri təqdim olunur. Məqsəd, örtüklərin müxtəlif materiallarla sürtünmə cütlüklərində yeyilməyə və korroziyaya qarşı müqavimətini təyin etməklə reaktiv oymağın istismar dövrünü uzatmaqdır.

Tribotexniki xassələr, İİ-5018 markalı sürtünmə maşınında, “disk-kolodka” sxemi üzrə, 2.7 MPa təzyiq və 1.3 m/s sürət altında,

kvars abrazivli dizel yağı ilə yağlanan mühitdə aparılmışdır. Xrom və xrom-nikel örtüklü polad (30XH2MΦA, 38XH3MA və 30XHMFΦA) rolıkların və kolodkaların yeyilməsi, həm kütlə itkisi ilə, həm də sürtünmə əmsalının dəyişməsi ilə qiymətləndirilmişdir.

Əldə olunan nəticələr göstərir ki: Karbidli örtüklər çuqunla sürtünmə zamanı yüksək performans göstərmişdir. Titanlaşdırılmış kolodkalarla yeyilmə 20 mq, xromlaşdırılmış kolodkalarla isə 24 mq olmuşdur. Sürtünmə əmsalı müvafiq olaraq 0.17 və 0.18 səviyyəsindədir. Xromnikelləşdirilmiş kolodkalar titanlaşdırılmışlara nisbətən çuqun və poladla daha sabit işləyir və daha az yeyilmə göstərir. Ən aşağı sürtünmə əmsalı 0.11 olaraq qeydə alınmışdır.

Səthi bərkliyi 29,000–30,000 MPa olan örtüklərdə yeyilmə və sürtünmə əmsalı minimal səviyyədə qalır, daha aşağı mikrobərklikli poladlarda isə bu göstəricilər iki dəfədən çox artır.

Diffuziya örtükləri ağır hidrotermal şəraitdə — 380 °C temperaturda, 18 MPa təzyiq altında suda və 1150 °C qızdırılmış buxarda sınaqdan keçirilmişdir. Nəticələr göstərir ki, Ni əlavələri, xüsusilə xrom ilə birlikdə istifadə edildikdə, metal səthində Fe oksidlərinin yaranmasının qarşısını alır və kütlə itkisini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Xrom-nikelləşdirilmiş örtüklərin strukturunda nazik və passiv qoruyucu təbəqə formalaşır ki, bu da korroziya prosesinin yayılmasını məhdudlaşdırır. KCl kimi aqressiv mühitlərdə xromlu diffuziya örtükləri yüksək korroziyaya məruz qalır, lakin Ni-nin mövcudluğu bu prosesi ləngidir.

ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

1. İstehsalçı zavod tərəfindən texnoloji tələblərə uyğun olaraq 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymaq detalının istismar müddəti 8000-10000 atış resursuna malikdir. Buna baxmayaraq istismar zamanı atış resursu 5000 atış təşkil edir. Bu da ehtiyat əmsalının 1,6-2 dəfə aşağı düşməsi deməkdir [1].

2. Barıt qazlarının təzyiqi altında ekstremal şəraitdə işləyən reaktiv oymaq detalının sıradan çıxmasının əsas səbəbi zərbə-abraziv, termoplastik, termoeroziya, termokimyəvi və mexaniki-kimyəvi yeyilmədir. Reaktiv oymağın istismar müddətinin uzadılması və etibarlılığının təmin edilməsi “lülə və qolboru” qovşağında işçi səthə vakuumda diffuziya metallaşdırılma ilə örtük çəkməklə mikrobərkiyi və etibarlılığı təmin etmək mümkündür [2].

3. Reaktiv oymağın işçi səthində termal təsirlər nəticəsində yaranan maksimal temperatur hədləri modelləşdirilmişdir. Kritik temperaturun artması səthdə plastik deformasiyaların və çatların yaranmasına səbəb olduğu sübut olunmuşdur [3].

4. Kritik istilik anında reaktiv oymağın səthində formalaşan mexaniki gərginliklərin təsiri ilə baş verən lokal deformasiyaların nəzəri əsasları öyrənilmişdir. Nəticədə, istilik zərbələrinin daha çox səth qatında məhdudlaşdığı və nüvəyə yayılmadığı təyin edilmişdir [4,5].

5. Dissertasiyada 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymağının işçi səthində alınan qatın əmələgəlmə mexanizmi və onun qalınlığının artırılması yolları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, reaktiv oymağın işçi hissələrin xətti ölçülərinin dəyişməsi əsasən diffuziya metallaşdırılma rejimlərindən asılı olaraq baş verir. Aparılan tədqiqatlar diffuziya metallaşdırılma rejiminin reaktiv oymağın işçi səthinin xətti ölçülərinə, mikrostrukturuna, faza tərkibinə və digər fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinə təsirini müəyyən etməyə imkan vermişdir [5,6].

6. Diffuziya metallaşdırılma ilə möhkəmləndirmə zamanı optimal rejim parametrləri müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, diffuziya metallaşdırılma ilə möhkəmləndirmə prosesində

formalaşan möhkəmləndirilmiş qatın qalınlığı və mikrobərkliyi, səthi möhkəmliyi artırılmış preseziyon hissənin normal istismar tələblərini ödəmək üçün kifayətdir [7].

7. Səthi möhkəmləndirmədə optimal diffuziya rejimləri və zənginləşdirici qatın əmələ gəlməsinə təsir edən əsas texnoloji parametrlər müəyyən edilmişdir. Təklif olunan diffuziya rejimləri nəticəsində alınan möhkəmləndirilmiş qat qalınlığı və səth bərkliyi 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymağının texnoloji etibarlığını tam təmin edir [8,9].

8. Tədqiqatda istifadə olunan 30XH2MΦA, 38XHМΦA və 30XHМΦA markalı poladların qatlar arasındakı sərhəddə diffuziya metallaşdırılmasının mövcudluq müddətinin artması Fe-Cr-Ni sistemində onun strukturunun Ni+FeCr₃ eutektik qarışığından Fe₂Ni₅+FeCr₃ intermetallidlər qarışığına transformasiyasına səbəb olur. Nikel ilə çökdürülmə zamanı ara qatın tərkibində (Cr,Fe)₅ intermetallid daxilolmalarının əmələ gəlməsi diffuziya zonasının bərkliyini 16 GPa-dan 15 GPa-ya qədər azaldır, xrom və nikel ilə birgə çökdürülmə isə bərkliyi 17-18 GPa səviyyəsinə qaldırır [10,11].

9. Tədqiq edilmiş diapazonda poladdakı karbon miqdarı vakuumda diffuziya metallaşdırılması zamanı diffuziya zonasının böyümə sürətinə əhəmiyyətli təsir göstərmir. Əsas materialın xrom və nikel ilə çökdürülmə onun böyümə sürətini artırır, lakin bu artım 65% Cr və 35% Ni tərkibli əsas komponentlər istifadə edildikdə optimal qiymətlərə malik olur.

10. Rentgenoqrafik və metalloqrafik analizlər əsasında öyrənilmişdir ki, diffuziyalı qatın əsas möhkəmləndirici fazası karbid xromdur –Cr₇C₃. Üst səthdəki karbid qatdan sonra keçid və korbonsuzlaşdırılmış qatlar yerləşir. Materialın və qatın özəyinin tərkibində karbid qatdan sonra gələn sahədə qalıq austenit yoxdur (metodun həssaslığı – 5%). Özəyin strukturu – troostosorbit [14].

11. II-5018 markalı sürtünmə maşınında 40 mm-lik TƏQ-in reaktiv oymağının hissələrinin diffuziya metallaşdırılmasından sonra tribotexniki xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Eksperimentlərin nəticələri göstərir ki, seriyalı detallara nisbətən səthi möhkəmləndirilmiş detalların işləmə qabiliyyətinin 2-3 dəfə artmışdır [15].

DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1. Hüseynov, Ə. G., Kazımova, X. A., Əsədov Ş.A. Bərpada hissələrin qüsurlarının sistemləşdirilməsi // Azərbaycan Texniki Universiteti Konfrans Materialları, Bakı: -2018, -s. 144–146.
2. Hüseynov, Ə. G., Kazımova, X. A. Əsədov Ş.A. Maşın hissələrinin bərpasının meyarlar əsasında təyini // Azərbaycan Texniki Universiteti Konfrans Materialları, Bakı: -2018, -s. 146–148.
3. Hüseynov, Ə. G., Kazımova, X. A. Əsədov Ş.A. Diffuzion metallaşdırma üsulu ilə bərpa olunmuş presizion hissələrin çatdırma prosesinin nəzəri əsasları // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı: -2018, № 10(3), -s. 51–61.
4. Hüseynov, Ə. G., Əsədov, Ş. N., Kazımova, X. A., Əsədov Ş.A. Расчет припусков механической обработке при восстановления деталей // “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər və perspektivlər” Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfransı, Bakı: -2018, -s. 248–249.
5. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Camalov, Ü. S. Reaktiv oymağın daxili səthinin istilik ötürmə əmsalının analizi // Azərbaycan Texniki Universiteti Konfrans Materialları, Bakı: -2021, -s. 662–665.
6. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Kazımova, X. A. Diffuziya metallaşdırma ilə bərpa edilmiş pretsezion detalların mexaniki emalı üçün pardağ dairələrinin seçilməsi // Azərbaycan Texniki Universiteti Konfrans Materialları, Bakı: -2021, -s. 666–669.
7. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Nəzərov, İ. Ə. Selection of the optimal algorithm of methods for increasing the strength of shooting weapons barrels // Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies, AzTU, Bakı: -2021, -s. 65–67.
8. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Nəzərov, İ. Ə. Assessment of the wear of the working surface of the reactive thimble // Universum: Технические науки, Москва: -2022, № 2(95), -s. 9–11.
<https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.95.2.13107>

9. Əsədov Ş.A. In vacuum, the working surface of the reactive thimble analysis of coating application by diffusion metallization // Technical Scientific Conference of Students, Moldova: -s. 601–604.

10. Əsədov Ş.A. Formation of a diffusion layer on the working surface of a reactive bushing operating under conditions of thermos-erosion wear // Universum: Технические науки, Moskva: -2022, № 3(96), -s. 43-46. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.96.3.13269>

11. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Nəzərov, İ. Ə. Tank əleyhinə əl qumbaraatanın reaktiv oymağının diffuziya metallaşdırılması ilə etibarlılığının təmin edilməsi // “Gənclər və elmi innovasiyalar” Respublika Elmi-Texniki Konfransı, Bakı: -2022, -s. 1175-1181.

12. Hüseynov, Ə. G., Əsədov Ş.A., Nəzərov, İ. Ə. Xüsusi təyinatlı məhsulların hissələrinin diffuziya metallaşdırılma üsulu ilə möhkəmləndirilməsi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı: -2022, № 14(3), -s. 54-63. <https://doi.org/10.52171/2076-0515>

13. T.İ. Süleymanov, Hüseynov, Ə. G., Nəzərov, İ. Ə, Əsədov Ş.A. Atıcı silahların lüləsinin yeyilməsində barıt qazının rolu // Xüsusi Texnika və Texnologiyalar Jurnalı, Bakı: -2022, № 1(2), -s. 20–30.

14. Hüseynov, Ə. G., Nəzərov, İ. Ə, Əsədov Ş.A., F.S. Hüseynli. Atıcı silahların lüləsində yaranan istilik proseslərinin yeyilməyə təsiri // Xüsusi Texnika və Texnologiyalar Jurnalı, Bakı: -2023, № 3(1), -s. 53–65.

15. Hüseynov, Ə. G., Nəzərov, İ. Ə, Rüstəmov Ə.R., Səfərov M., Əsədov Ş.A. Silah və silah sistemlərinin etibarlılığının təmin edilməsi // Hərbi İcmal, Bakı: -2025, № 1(10), -s.5-11.

Çap olunmuş əsərlərdə müəllifin şəxsi iştirakı

[5, 7, 8, 13, 14] sayılı işlərdə iddiaçı məsələnin qoyuluşunu, nəzəri araşdırmaları və eksperimental tədqiqatların aparılmasını yerinə yetirmişdir.

[1, 2, 3, 4, 6, 11, 12, 15] sayılı işlər müəlliflər tərəfindən bərabər səviyyədə yerinə yetirmişdir.

[9, 10] sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi ____ oktyabr tarixində saat ____ -da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.09 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Texniki Universitetinin PHŞ-nin rəsmi internet saytında (www.aztu.edu.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat ____ sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 17.09.2025
Kağızın formatı: A5
Həcm: 42569
Tiraj: 100 nüsxə