

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazma hüququnda*

## METAL-ŞÜŞƏ OVUNTU KOMPOZİSİYALARININ NƏZƏRİ-EKSPERİMENTAL İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3312.01 – “Materiallar texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Tahir Qaffar oğlu Cabbarov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

### AVTOREFERATI

**Bakı – 2024**

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Materialşünaslıq və emal texnologiyaları” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: texnika üzrə elmlər doktoru, professor  
**Mustafa Baba oğlu Babanlı**

Rəsmi opponentlər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor  
**Abbas Abdurəhman oğlu Quvalov**

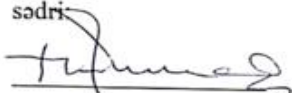
texnika üzrə elmlər doktoru, dosent  
**Ziya Saxavəddin oğlu Əliyev**

texnika üzrə elmlər doktoru, professor  
**Nizami Şayı oğlu İsmayılov**

texnika üzrə elmlər doktoru  
**Ramin İsmətbəy oğlu Kərimov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının “Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti” PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının  
sədri:



texnika üzrə elmlər doktoru, professor

**İbrahim Əbülfəz oğlu Həbibov**

Dissertasiya şurasının  
elmi katibi:



texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Sülük Nəriman oğlu Nəsirov**

Elmi seminarın sədri:



texnika üzrə elmlər doktoru, dosent  
**Qəhrəman Səyid oğlu Həsənov**

IMZANI TƏSDİQ E  
ADNSU-nun Elmi katibi,  
dosent N.Əliyeva



## ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**İşin aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Ovuntu metallurjiya (OM) texnologiyasının ən mühüm nailiyyətlərindən biri eyni materiallarda müxtəlif komponentlərin unikal birləşmələrini yaratmaq imkanındır. OM texnologiyalarının bu üstünlüyü, dispers möhkəmlənən və armaturlaşdırılmış kompozisiya materiallarını, o cümlədən, psevdorintilər adlandırılan geniş spektrli materiallar yaratmağa imkan verir.

Yeyilməyə davamlı yeni materialların yaradılması ovuntu metallurjiyasının prioritet istiqamətlərdən biridir. Bununla bağlı tədqiqatçıların qarşısına iki məsələ qoyulur: 1) getdikcə artan tələbləri nəzərə alaraq materialların xassələrini yaxşılaşdırmaq; 2) daha ucuz və əlçatan komponentlərdən istifadə etməklə materialların maya dəyərini aşağı salmaq, eyni zamanda yeyilməyə davamlı məmulatların hazırlanma texnologiyasını sadələşdirmək.

Bu mənada dəmir əsaslı yeyilməyə davamlı ovuntu materialların yaradılması, OM-in texnoloji prosesləri arasında aparıcı yer tutur. Çuqun yonqarlarının və şüşə tullantılarının ovuntuya çevrilməsi onları dəmir əsaslı şixtələrinin komponentləri kimi istifadəsinə imkan verəcəkdir.

Şixtədə dəmir, çuqun və şüşə ovuntularının birgə iştirakı presləmə prosesində qapalı pres-qəlibdə elastiki-plastiki mühit yaradır. Məlumdur ki, çuqun və şüşə plastiki-deformasiya halına düşmərlər və bu halda ovuntu şixtəsinin sıxlaşması yalnız dəmir hissəciklərinin plastikliyi, yəni preslənən şixtənin əsas komponenti hesabına baş verir. Qeyd etmək lazımdır ki, hal-hazırda “dəmir-çuqun-şüşə” birləşmələri öyrənilmədiyindən, qeyd olunan mühitdə sıxlaşma məsələləri böyük nəzəri və təcrübi əhəmiyyət kəsb edir.

**Tədqiqatın obyektı.** Tədqiqat obyektı kimi antifriksion təyinatlı detalların hazırlanması üçün dəmir, çuqun və şüşə ovuntularından sintez edilmiş metal-şüşə kompozisiya materialları götürülmüşdür.

**Tədqiqatın predmeti.** “Dəmir-çuqun-şüşə” tərkibli ovuntu kompozisiya materialının strukturunun və xassələrinin formalaşma xüsusiyyətlərinin, zərrəciklərarası əlaqələrin keyfiyyət xarakteristika-

larına təsir edən amillərin və ovuntu materialının elastiki-plastiki mühitdə sıxlaşması kinetikasının tədqiqidir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin məqsədi – elastiki-plastiki mühitdə dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiya materiallarının sıxlaşma prosesində yeni elmi istiqamətin işlənməsi, presləmə və bişirmə texnologiyalarının müxtəlif şərait və parametrlərində dəmir-çuqun-şüşə ovuntu materiallarının presləmə və bişirmə proseslərinin qiymətləndirilməsidir. Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Dəmir, çuqun və şüşə ovuntularından ibarət olan elastiki-plastiki mühitli ovuntu şixtəsinin tərkibinin seçilməsi.

2. Passiv deformasiyanın müxtəlif şəraitlərində elastiki-plastiki mühitdə soyuq presləmə prosesinin riyazi işlənməsi.

3. “Dəmir-çuqun-şüşə”dən hazırlanmış məsaməli pəstahların sərt sağanaqda radial sıxılması zamanı plastik deformasiyasının nəzəri və təcrübi qiymətləndirilməsi.

4. Ovuntu şixtlərinin və dəmir-çuqun-şüşə məsaməli pəstahlarının təzyiqlə emal proseslərinin vahid riyazi modelinin işlənməsi.

5. Müxtəlif formalı pres-qəlib modellərinin tərtibatdan istifadə edərək dəmir-çuqun-şüşədən ibarət məsaməli cisimlərin sıxlaşdırılmasının qiymətləndirilməsi.

6. Dəmir-çuqun-şüşədən ibarət olan məsaməli pəstahların plastiki deformasiyada güc və kinematik parametrlərinin qiymətləndirilməsi.

7. Dəmir əsaslı metal-şüşə materialların bişirmə prosesinin riyazi modellərinin işlənməsi və onların bişirmə kinetikasının analitik izahı.

8. Dəmir-çuqun ovuntu materiallarında sitallaşmış şüşədən istifadə olunmasının əsas üstünlüklərinin qiymətləndirilməsi.

9. Metal-şüşə materialların presləmə və bişirmə proseslərinin eksperimental tədqiqi.

10. Azərbaycan Respublikası şəraitində əldə edilmiş tədqiqat nəticələrinin tətbiqi üçün tövsiyələrin işlənməsi.

**Tədqiqat metodları.** Dissertasiya işində müasir tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir: statik deformasiyaya uğratmanın, davamlığın riyazi modellərinin qurulması üçün ovuntu kompozisiya materiallarının məlum nəzəri müddəaları; deformasiyanın gərginlik halının

hesabatı üçün sərhəd məsələlərinin həllinin ədədi və ədədi-analitik üsulları; İF-THEN qeyri-səlis qaydaları almaq üçün, FCM-dən istifadə etməklə təcrübi nəticələrin klasterləşməsi; tərkib və xassələrin, eləcə də materialın xassələri və texnoloji parametrləri arasındakı əlaqənin izahı.

Nümunələrin və detalların alınmasında eksperimental işlər, yəni presləmə, bişirmə, buxartermiki oksidləşmə “Koyohindberg” (ABŞ), “Mannesman”, “Ehino” (Almaniya) firmalarının müasir avadanlıq, qurğu və cihazlarından istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Mexaniki və tribotexniki xarakteristikaların öyrənilməsi standart metodikalar üzrə aparılmış, mikrostruktur tədqiqatlar metalloqrafik “NEOFOT-21” (Almaniya) və “Tescan Vega3” rastr elektron mikroskopunda həyata keçirilmişdir.

Bişirmənin kinetikasını və oturmağın qanuna uyğunluğunu təyin etmək üçün dilatometrik tədqiqatlar DİL402-2(NETZSCH) yüksək temperaturlu dilatometrə aparılmışdır. Nəzəri və eksperimental nəticələrin dəqiqliyi laboratoriya və istehsalat şəraitində təsdiq edilmişdir. Dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiya materialının alınma texnologiyasının təcrübi-istehsalat aporbasiyası istehsalat şəraitində 8 TJI.210.005 ”Oymaq” detallarının hazırlanması ilə həyata keçirilmişdir.

Dissertasiyanın nəticələri həm Azərbaycan Respublikasının, həm də MDB və digər xarici ölkələrin maşınqayırma və neftqaz müəssisələrində tətbiq edilə bilər.

### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. “Dəmir-çuqun-şüşə” tipli ovuntu kompozisiya materialından yeni şixtə tərkibi.

2. Elastik-plastik mühitdə məsaməli cisimlərin soyuq preslənmə prosesinin riyazi modelləri.

3. “Dəmir-çuqun-şüşə”dən məsaməli pəstahların plastik deformasiyasının eksperimental qiymətləndirilməsi.

4. “Dəmir-çuqun-şüşə”dən ovuntu şixtəsinin və məsaməli pəstahların təzyiqlə emal proseslərinin riyazi modeli.

5. Müxtəlif formalı pres-qəliblərdə “dəmir-çuqun-şüşə”dən hazırlanmış məsaməli cisimlərin sıxılmasının qiymətləndirilməsi.

6. Dəmir əsaslı metal-şüşə materialların bişirmə prosesinin riyazi modeli.

7. Nəzəri və eksperimental tədqiqatların verilənləri əsasında işlənmiş dəmir-çuqun-şüşədən yeyilməyə davamlı ovuntu məmulatlarının istehsal texnologiyası.

8. «Dəmir-çuqun-şüşə» materialının tərkibi və xassələri arasında asılılıq modelləri qeyri-səlis məntiq «*Əgər – Onda*» qaydaları şəklində qurulmuş və bu modellər təcrübi verilənlərə C-orta qeyri səlis klasterləşdirmə üsulunun tətbiqi ilə alınmışdır. Analoji olaraq materialın texnoloji parametrləri və xassələri arasındakı əlaqəni izah edən «*Əgər-Onda*» qeyri-səlis məntiq qaydası alınmışdır.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Elastiki-plastiki mühitdə ovuntu materialının sıxlaşdırılmasının riyazi modellərinin işlənməsi və radial deformasiyanın olduqca böyük artımında prespəstahların məsaməliyinin dəyişməməsi təyin edilmişdir.

2. Təcrübi verilənlərin C-orta qeyri-səlis klasterləşdirilməsi üsulunun tətbiqi əsasında «dəmir-çuqun-şüşə» materialının tərkibi və onun xassələri arasındakı əlaqəni izah edən «*Əgər – Onda*» qeyri-səlis məntiq qaydaları qurulmuşdur və onların əsasında verilmiş xarakteristikalara uyğun material sintez edilmişdir.

3. Məhdud passiv deformasiya şəraitində sıxlaşdırılmada məsaməli metal-şüşə cisimlərin özlərini aparması xarakteri müəyyən edilmişdir.

4. Mikrostruktur analiz üsullarından istifadə etməklə və məsaməli cismi bərkliyə sınaqla materialın məsaməliyinin paylanması, dənələrin deformasiyası və onların qarşılıqlı əlaqəsi ilə əlaqəli yeni təsəvvür alınmış, eyni zamanda bərkliyə sınaqla məsaməli cisimlərin mexaniki xassələri və cismin komponentlərinin gərginlik-deformasiya halı təyin edilmişdir.

5. «Dəmir-çuqun-şüşə»dən ovuntu şixtələrinin və məsaməli pəstahların təzyiqlə emal proseslərinin riyazi modeli qurularaq plastiki axında gərginlik tenzor komponentlərinin bir-birilə əlaqələndirən, skalyar nisbətlərin ümumi tenzor nisbətləri ilə plastiki axında iştirakını təyin etməyə imkan vermişdir.

6. «Dəmir-çuqun-şüşə»dən bişirilmiş məsaməli pəstahların deformasiyasında güc və kinematik parametrlərin qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Ovuntu şixtələrinin və məsaməli pəstahların preslənməsinin işlənmiş nəzəri müddəalarını, həmçinin prespəstahların bişirilməsini nəzərə alaraq və eksperimental tədqiqatların verilənlərindən istifadə etməklə dəmir-çuqun-şüşədən yeyilməyə davamlı ovuntu materiallarının istehsal texnologiyası işlənmişdir. Şixtə tərkibində, istehsalat tullantıları olan çuqundan və şüşədən istifadə etmək, işlənmiş yeyilməyə davamlı materialın maya dəyərini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı satmağa imkan vermişdir.

Azərbaycan Respublikasının neftqazçıxarma müəssisələrində istifadə edilən nasosların və başqa detalların sürtünmə qovşaqlarının detallarının istehsalat şəraitində hazırlansında tədqiqat nəticələrinin tətbiqi üçün ilkin şərtlər və tövsiyələr işlənmişdir.

**Tədqiqatın aprobasiyası və nəticələrin tətbiqi.** Dissertasiyada öz əksini tapmış elmi işləmələr və texniki həllər dəmir-çuqun-şüşə növlü kompozisiya materiallarının presləmə və bişirmə proseslərinin müxtəlif üsullarının yaradılmasına və təkmilləşdirilməsinə, material və enerji ehtiyatlarının qənaət edilməsinə istiqamətlənmişdir. Dissertasiya işinin nəticələri "Azneftximmaş"ın müəssisələrində Azərbaycan Respublikasının neftçıxarma sahələrinin avadanlıq və qurğularında istifadə edilən yeyilməyə davamlı detalların istehsalında tətbiq edilmişdir.

**Nəşr olunma dərəcəsi:** Dissertasiyanın mövzusu üzrə 36 elmi əsər, o cümlədən beynəlxalq xülasələndirmə və indekslənmə olunan elmi jurnallarda 18 məqalə (onlardan 4-ü Science Citation Index (SCI) jurnallarında, 3-ü SCOPUS bazasında və elmi konfransların dərgilərində, 17 məruzə materialı) çap olunmuşdur və bir müəlliflik şəhadətnaməsi alınmışdır.

**İşin nəşri, aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiyanın materialları aşağıdakı konfrans və seminarlarda məruzə və müzakirə edilmiş, bəyənilmişdir.

1. Gənc alimlərin və aspirantların respublika konfransı. – Bakı, Dekabr, 1997 .

2. AzTU-nun aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi texniki konfransı. – Bakı, 12-15aprel 2002.

3. 46-cı Tələbə elmi-texniki konfransı AzTU, Bakı, 1-3 may 2003.

4. Azərbaycan Respublikasının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin 80-illik yubileyinə həsr olunmuş “Aspirant və Gənc Tədqiqatçıların Elmi-Texniki konfransı”. – Bakı, 12-15 may 2003.

5. Ali məktəb tələbələrinin XIX respublika elmi konfransı, Bakı, Konfrans Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 31.01.2003-cü il tarixli 93 sayılı əmrinə əsasən 16-17 may 2003-cü ildə AMİU-də keçirilmişdir.

6. “Metallar fizikasının müasir problemləri” Beynəlxalq elmi-praktik konfrans. – Bakı, AMİU, 9- 11 oktyabr 2007.

7. International Conference. “Thermophysical and mechanical properties of advanced materials” and 4<sup>th</sup> Rostocker international symposium”. Thermophysical properties for technical thermodynamics”. – AzTU, Bakı, 17-18 September 2015.

8. “Metallar fizikasının müasir problemləri” V Beynəlxalq elmi-praktik konfrans. – AMİU, Bakı, 10-11 iyun 2016.

9. Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar. Beynəlxalq elmi praktik konfrans. Bakı, 28-30 sentyabr, 2016.

10. Tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı. – Bakı, AzTU, 3-5 may, 2017.

11. “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” mövzusunda 2-ci beynəlxalq elmi-texniki konfransı. Bakı, 28-30 noyabr, 2017

12. Tenth World Conference “Intelligent Systems for Industrial Automation”, WCIS-2018, Tashkent, Uzbekistan, 25-26 October, 2018.

13. International Conference on Research in Natural and Engineering Sciences (ICRNES 2020), Konya, Turkey.

14. Fifth International Iron-Steel Symposium. April 1-3, Karabuk, Turkey.

15. 11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation”, WCIS – 2021, AISC1323, Tashkent, Uzbekistan.

16. Sekond International Scientific-Practical Conference “Modern Information, Measurement and Control Sitem: Problems and Perspectives 2020” (MIMCS 2020) dedicated to the: 100<sup>th</sup> anniversary of ASOIU. – Bakı, Azerbaijan, Desember 07-08, 2020.



17. “Su nəqliyyatının problemləri” XVIII Beynəlxalq elmi-texniki konfrans. “Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ, Bakı, 4-5 may 2023

Dissertasiya işində təqdim olunmuş materiallar Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində, Azərbaycan Texniki Universitetində və Azərbaycan Mühəndislər Universitetində bakalavriat və magistratura pillələrində mühazirə və məşğələ, kurs layihələrinin və kurs işlərinin, eləcə də buraxılış işlərinin və magistr dissertasiyalarının yerinə yetirilməsində istifadə olunur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat.** Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin “Materialşünaslıq və emal texnologiyaları” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi.** İddiaçı tərəfindən tədqiqatın aktuallığının əsaslandırılması, texniki ədəbiyyat məlumatlarını öyrənməklə qoyulan məsələləri, tədqiqatların istiqamətləri müəyyən olunmuş və onların icrası yerinə yetirilmiş, nəzəri, riyazi modellərin qurulması müstəqil olaraq həll edilmişdir. Eksperimentlərin nəticələrinin analizi, həmçinin işlərin elmi konfranslarda müzakirəsi, alınmış nəticələr əsasında elmi məqalələrin tərtibi də müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya girişdən, 6 fəsildən (I fəsil 61366, II fəsil 62300, III fəsil 49728, IV fəsil 57801, V fəsil 37904, VI fəsil 52079 işarədən), ümumi nəticələrdən, 264 elmi ədəbiyyatdan, 311 komputer səhifəsindən ibarət olub, özündə 11 cədvəl və 76 şəkli əks etdirir. İşin ümumi həcmi 380930 işarə təşkil edir.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzəfləri dürüst ifadə edilmiş, tədqiqatın elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar müəyyənləşdirilmişdir.

**Birinci fəsildə** heterogen strukturlu öz-özünü yağlaya bilən

kompozisiya materiallarının yaradılması problemlərinə görə ədəbiyyat icmalı hazırlanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, heterogen strukturlu ovuntu materaillərinin yaradılması istiqamətində tədqiqatçıların diqqəti istehsalat tullantılarından istifadə etməklə alınan materialların istehsal prinsiplərinə yönəlmişdir. Göstərilmişdir ki, heterogen strukturlu ovuntu materiallarının istehsalı üçün çuqun yonqarı və şüşə istehsalatının tullantıları yararlı ola bilərlər. Dəmir və çuqun ovuntularının qarışığından sintez edilən yeni aşınmaya davamlı ovuntu materiallarının yaradılması mümkünlüyü analiz edilmiş və öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dəmir-çuqun kompozisiyasının alınması üçün ən səmərəli komponent bişirmə prosesində karbon dəmir matrisa ilə səmərəli qarşılıqlı təsirdə olan boz çuqun ovuntusu ola bilər.

Dəmir-çuqun kompozisiyanın tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, bu kompozisiyanın bişirmə prosesini sistemdə maye fazanın olması ilə aktivləşdirmək zəruridir. Dəmir çuqun kompozisiyasında belə komponent dəmir və çuqunla müqayisədə daha aşağı ərimə temperaturuna malik şüşə ola bilər.

Müəyyən edilmişdir ki, yeyilməyə davamlı ovuntu kompozisiya materiallarının əlverişli işləməsi üçün sürtünmə qovşaqlarının konstruktiv tərtibatı vacib amillərdən hesab edilir və burada sürtünmə zonasına yağlayıcıların verilməsi şəraiti təyin edilir.

Sınaqların nəticələri göstərir ki, yağlı sürtünmə şəratində məsələli, yeyilməyə davamlı ovuntu materiallarından hazırlanmış oymaqlar məsamə şəklində yağ rezervuarına malik olmayan antifriksion komponentlə (çuqunla) müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə aşağı yeyilməyə malik olurlar.

Aparılmış ədəbiyyat icmalının əsasında qeyd etmək olar ki, materialşünaslıq nöqtəyi-nəzərindən yeyilməyə davamlı ovuntu materialları böyük maraq yaradır. Belə ki, məsələn, plastiki mühidə soyuq presləməyə və bişirməyə aid çoxlu sayda tədqiqatların olmasına baxmayaraq, elastiki-plastiki mühidə tədqiqatlar yoxdur. Həqiqətən, plastiki mühidlərin tədqiqində plastiklik üçün nəzəri müddəaları və qanunları, elastiklikdə isə yalnız elastiklik nəzəriyyələrini tətbiq etmək olur. Elastiki-plastiki mühidə qəlibləmə proseslərinin işlənməsi halında hər iki nəzəriyyə yararsız olur. Deməli belə hal üçün başqa yanaşma lazımdır.

Metal ovuntularının mövcud sıxlaşma modelləri [211]<sup>1</sup> ayrı-ayrı parametrlər arasındakı funksional asılığın qənaətbəxş izah etməsinə baxmayaraq, yuxarıda qeyd edilən məqsədlər üçün xidmət edə bilmir. Birincisi, onlar, bir qayda olaraq, statikdir, konsolidasiya edilmiş ovuntu cismi qeyri-xətti daxili dinamikası olan qeyri-tarazi termodinamik sistemdir, deməli, onun mühitinin hal tənliyinə başqa parametrlərlə yanaşı zaman da daxil edilməlidir. Bu şərt yalnız məsaməli materialların qızmar emalı nəzəriyyəsini təmin edir. Bundan başqa, texnoloji rejimlər bir qayda olaraq elastik-plastik mühitin sıxılması prosesinin mövcud modellərinin nəzərə alınmadığı temperatur və presləmə sürətindəki dəyişikliklərə çox həssasdır.

Şıxtə komponentlərinin texnoloji proseslərinin adekvat modeləşdirilməsi üçün termodinamik parametrlərin genişlənməmiş daxili və xarici sistemlərdən istifadə etmək lazımdır. Beləki bunların içərisində ən azından nisbi sıxlıq  $\rho$ , zaman  $\tau$ , temperatur  $T$ , xarici təzyiq (və ya yükləmə sürəti)  $P$ , həmçinin ovuntu hissəciyinin fiziki-kimyəvi xassələrini və onların formasını xarakterizə edən reoloji parametrlərin ümumiləşdirilmiş toplusu ( $\mu_R$ ) tənlik şəklində yazılmalıdır.

$$\frac{d\rho}{d\tau} = \Phi(\rho, \tau, T, P\{\mu_R\}), \quad (1)$$

burada  $\frac{d\rho}{d\tau}$  – sıxlaşma prosesində məsaməli materialın nisbi sıxlığının dəyişmə sürətidir;  $\Phi(\rho, \tau, T, P\{\mu_R\})$  – daxili və xarici parametrlərin bəzi funksiyalarıdır. Sistemin hal tənliyi (1) ifadəsinin inteqrallaşdırılması nəticəsində alınmalıdır.

[112]<sup>2</sup> işdə yuxarıda göstərilən tələbləri ödəyən, qapalı pres-qələblərdə yalnız homogen proseslər üçün nəzərdə tutulan presləmə proseslərinin fenomenoloji nəzəriyyələrinin qurulmasına cəhd edilib, həmçinin metal ovuntuların preslənmə və texnoloji-istehsalat proseslərinin modeləşdirilməsinin izahı üçün onun baza modeli kimi tətbiq imkanlarına baxılıb. Belə model elastiki-plastiki mühitdə sıxlaşma

<sup>1</sup> Hewitt R.L., Wallace W. de Molherbe M.S. The effects of Abrain – hardening in powder compaction//Powder Metallurgy, 2002, 16, № 31, pp.88-106.

<sup>2</sup> Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерофазных сред // - М: Наука, – 2008. – с. 336.

şərtlərini ödəmir, hansı ki, burada həm plastiklik, həm də elastiklik nəzəriyyəsinə nəzərə almaq zəruridir.

Beləliklə, ədəbiyyat xülasəsindən göründüyü kimi, müasir zamanda həm plastiki, həm də elastiki elementlərdən təşkil olunmuş ovuntu materiallarının mükəmməl presləmə nəzəriyyəsi mövcud deyil. Buna görə sıxlaşma mərhələsində istər passiv, istərsə aktiv deformasiya və elastiki-plastiki mühitdə preslənmənin digər parametrləri şəraitində məsaməli cismin radial sıxılmasını nəzərə alan yeni modellərin işlənməsi olduqca aktual məsələ hesab edilir. Bundan başqa, bir tərəfli, ikitərəfli preslənmələrdə və “üzən” matrisalı presləmədə sıxlaşmanın riyazi qiymətini vermək zəruridir. Bu, materialların sıxlaşmasının daha enerjili variantını təyin etməyə imkan verəcək. Məsələn, dəmir-çuqun-şüşədən məsaməli oymaqların radial sıxılmasında qəlibləmədə onun enerjili halının təyin edilməsini tədqiq etmək olar.

Dəmir-çuqun-şüşədən ovuntu şixtələrinin və məsaməli pəstahların təzyiqlə emal proseslərinin vahid riyazi modelini qurmaq vacibdir. Bunun üçün elastiki-plastiki mühitdə məsaməli cisimlərin sıxlaşması üçün yekun tənlikləri almaq olar. Bundan başqa, belə materialların sıxlaşması üçün presləmədə qəlibləyici tərtibatın forması az əhəmiyyət kəsb etmir. Metalşüşə ovuntu prespəstahların bişirmə prosesinin riyazi modelləşdirilməsi də vacib məsələ hesab edilir. Bununla ovuntu materiallarının bişirmə prosesinin kinetikasını şüşənin iştirakı ilə dəmirin və karbonun və başqa endotermik və ekzotermik mənsəli aşqarların diffuziya proseslərinin analitik izahını vermək olar.

Dəmir-çuqun ovuntu materialının tərkibində sitallaşmış şüşədən istifadənin əsas üstünlüyünü qiymətləndirərkən ovuntu ərintisinin və sitallaşmış şüşənin diffuziya əmsalının fəallıq amilini təyin etmək olar.

Nəhayət, presləmə, bişirmə, tabalma və s. proseslərin işlənməmiş modelləri bu əməliyyatların texnoloji rejimlərinin emalı üçün nəzəri baza ola bilərlər. Bu modellər əsasında eksperimental tədqiqatları lazımı qaydada qurmaq və dəqiq düzgün verilənlər əsasında eksperimentlərin sayını azaltmaq olar.

**İkinci fəsil**də ovuntu şixtələrinin tərkibi seçilmiş və onların xassələri tədqiq edilmişdir. Fazlararası qarşılıqlı təsiri, eləcə də, mexaniki xassələri və aşınmaya davamlılığı yaxşılaşdırmaq üçün tərkibində şüşə olan şixtəyə elə komponentləri daxil etmək lazımdır ki, bir-biriylə

yaxşı islanma bilsinlər [2]<sup>3</sup>. Şixtənin tərkibində çuqun ovuntusundan istifadə etməklə belə səmərəyə nail olunur. Beləki, çuqunun tərkibində çox miqdarda silisium və manqan olduğundan onlar oksidləşdirici mühitdə qızdırma prosesində çətin reduksiya olunan oksidlər əmələ gətirir. Məlumdur ki, metalların oksidləri təmiz metallarla oksidlərin islanması ilə müqayisədə, bir-biriylə yaxşı islanırlar [3]<sup>4</sup>. Qəbul etmək lazımdır ki, bişirmə prosesində silisium və manqan oksidləri şüşə ilə yaxşı islanacaq və möhkəm birləşmələr əmələ gətirəcəklər. Bu bişirilmiş kompozisiya materiallarının alınmasında dəmirin, çuqunun və şüşənin seçilməsi üçün əsas konsepsiya kimi qəbul olunmuşdur.

Tərkibində az tapılan element, ya da aşağı xassələrə malik olan məlum materialların qüsurlarını aradan qaldırmaq məqsədilə metal-şüşə materialının alınması üçün şixtə işlənmiş və müəlliflik şəhadətnaməsi ilə müdafiyyə edilmişdir [5]<sup>5</sup>.

Onun tərkibində, TY16-89BAUK411100.006TY"-yə uyğun istehsal edilən boz çuqun yonqarından alınan və tərkibində (küt.%) olan: karbon – 3,0-3,8; silisium – 1,5-2,8, manqan – 0,5-1,0; fosfor – 0,05-0,1; kükürd – 0,05-0,1 komponent istifadə olunmuşdur. Şixtə ГОСТ9849-86-ПЖ2М3 markalı 40-88 küt.% dəmir, 10-50 küt.% çuqun və С88-5 ОСТ11027.037-79 markalı 2-10 küt.% vakuum şüşə ovuntularının “Y” formalı (3D) qarışdırıcıda 2 saat müddətində qarışdırmaqla alınmışdır.

Çuqun ovuntusunun miqdarının 10-50 küt.% intervalında götürülməsi onunla izah olunur ki, bu miqdar tərəfimizdən əvvəlki materiallarda öyrənildiyindən, şixtənin texnolojiliyi və bişirilmiş materialda kifayət qədər yüksək xassələrin təmin edilməsi baxımından daha əlverişli hesab edilmişdir. Şixtədə şüşənin miqdarının 10 küt.%-dən

---

<sup>3</sup> Cabbarov T.Q., Soltanov A.B. Oksidləmə parametrlərinin ЖЧ50СТ6 ovuntu kompozisiya materialının mexaniki xassələrinə təsiri.

<sup>4</sup> Cabbarov T.Q., Soltanov A.B. Oksidləşdirilmiş dəmir-çuqun-şüşə sistemli ovuntu kompozisiya materialının tribotexniki xassələrinə bişirmə temperaturunun müddətinin təsiri.

<sup>5</sup> Джаббаров Т.Г., Мамедов А.Т. Шихта для получения износостойкого спеченного материала на основе железа // Авторское свидетельство №1752508, 8 апреля 1992 г.

çox olması məsləhət görülmür. “Dəmir-çuqun-şüşə” materialının tərkibi nəzəri [174]<sup>6</sup> və eksperimental üsullarla [8]<sup>7</sup> əsaslandırılmışdır. Şixtə tərkibini nəzəri əsaslandırdıqda, materialın tərkibi və xassələri arasındakı əlaqəni izah edən, “Əgər – Onda” qeyri-səlis qaydası qurulmuşdur.

Qayda C-orta qeyri-səlis klasterləşdirilməsindən istifadə etməklə eksperimental verilənlər əsasında qurulmuşdur [216]<sup>8</sup>.

C-orta qeyri-səlis klasterləşdirmə məsələsi  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  verilənlər çoxluğunun  $n$ -ölçülü sahədə “C” qeyri-səlis klasterə bölünməsindən ibarətdir və aşağıdakı kimi formalaşdırılır

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

$$\text{Məhdudiyyət: } u_{ij}^m = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_i - v_j\|}{\|x_i - v_k\|} \right)^{m-1}}$$

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m}$$

$$1 \leq m < \infty$$

burada  $u_{ij}$   $j$  – qeyri-səlis klasterinin  $x_i$  verilənlər sahəsinə aid edilən həddir;  $\|\cdot\|$  – məsafə evklidovudur;  $m$  – klasterlərin qeyri-səlisliyini təyin edən parametrdir;  $v_j - j$  qeyri-səlis klasterin mərkəzidir.

Məqsəd funksiyası klaster elementlərinin mərkəzlərə qədər olan məsafələrinin cəmidir və onun qiymətini minimallaşdırmaq zəruridir.

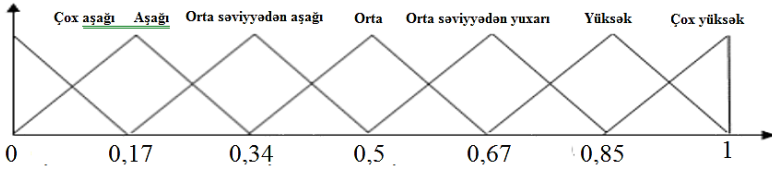
<sup>6</sup> Aliev R.A., Aliev R.R. Soft Computing and Its Application. World Scientific.

<sup>7</sup> Babanlı M.B., Cabbarov T.Q. Konstruksiya ovuntu poladları üçün xrom türkibli legirləyici əlavələrin seçimi.

<sup>8</sup> Jabbarov T.G. Synthesis of "iron-cast iron-glass" obsolete powder composite materials using fuzzy logic and big data base concepts.

Eksperimental verilənlər qeyri-müəyyənliklə xarakterizə edilir. Modellərin giriş dəyişənləri ilkin şıxtə komponentlərinin miqdarından ibarət olur.

Çıxış dəyişənləri “dəmir-çuqun-şüşə” kompozisiya materialının mexaniki xassələri götürülür. Məqsəd – qeyri-müəyyənliyi nəzərə almaqla materialın tərkibi və onun xassələri arasındakı asılıq modellərinin qurulmasıdır. Qeyd edilən modellərin qurulmasında istifadə olunan qeyri-səlis parçaların tərtibi (standart) şəkil 1-də göstərilmişdir.



**Şəkil 1. Qeyri-səlis parçalara ayrılma qaydası**

Mamdaninin qeyri-səlis loqiq nəticəsinin alqoritminə əsasən, giriş dəyişənlərinin verilən qiymətlərində ( $y_1^*, \dots, y_n^*$ ), modellərin çıxış dəyişənlərinin qiymətləri  $z_{j1}^* = 1, \dots, \lambda$  aşağıdakı kimi hesablanır.

1. Mənsubiyyət funksiyasının qiyməti tapılır:

$\mu_{A_{j1}}(Y_1^*), \dots, \mu_{A_{jn}}(Y_{1n}^*)$   $A_{j1}, \dots, A_{jn}$  termlərinin qeyri-səlis girişləri.

2. Qaydanın fəallıq həddi təyin edilir:

$$A_j = \mu_{A_{j1}}(Y_1^*) \wedge \dots \wedge \mu_{A_{jn}}(Y_{1n}^*),$$

burada  $\wedge$  – loqiq əməliyyat minimumdur (min).

3. Çıxış terminin  $B_{jl}$ : “qısaltdılmış” mənsubiyyət funksiyası  $\mu'_{B_{jl}}(z_l)$  hesablanır:

$$\mu'_{B_{jl}}(z_l) = \alpha_j \wedge \mu_{B_{jl}}(z_l)$$

4. Çıxış dəyişəni üçün  $\mu_\Sigma$  mənsubiyyət funksiyası ilə qeyri-səlis çoxluqların birləşdirilməsi əməliyyatları əsasında qeyri-səlis çoxluqların son qiyməti hesablanır:

$$\mu_\Sigma(z_l) = \mu'_{B_{j1}}(z_l) \vee \dots \vee \mu'_{B_{cl}}(z_l),$$

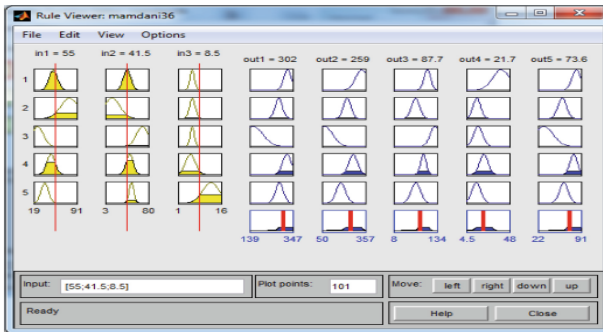
burada  $\vee$  – loqiq maksimum əməliyyatdır (max).

5. Ağırlıq mərkəzi üsulu ilə defazzifikasiyalama əsasında çıxış dəyişənin dəqiq qiyməti hesablanır  $Z_e^*, l=1, \dots, \lambda$ ,

$$z_l^* = \frac{\int_{\bar{z}_l} z_l \cdot \mu_{\Sigma}(z_l) dz_l}{\int_{\bar{z}_l} \mu_{\Sigma}(z_l) dz_l}$$

burada  $z_l$  və  $\bar{z}_l$  – uyğun olaraq  $z_l$  üçün universumun (diapozonun) aşağı və yuxarı tərəfləridir;  $\int$  – integral simvoludur.

Qaydanın qrafiki təsviri şəkil 2-də verilib.



**Şəkil 2. Qeyri-səlis qaydaların qrafiki izahı**

Alınmış qaydalardan verilmiş xarakteristikalara görə materialın tərkibini təyin etmək üçün istifadə edilmişdir. Məsələn, aşağıdakı xarakteristikalara malik “dəmir-çuqun-şüşə” ovuntu kompozisiya materialı almaq tələb edilir:

$$Z_1 = 302; Z_2 = 259; Z_3 = 88; Z_4 = 22; Z_5 = 73,6.$$

Burada  $Z_1$  – dartmada möhkəmlik həddi ( $\sigma_b$ , MPa);  $Z_2$  – əyilmədə möhkəmlik həddi ( $\sigma_u$ , Mpa);  $Z_3$  – bərklik (HB, MPa);  $Z_4$  – zərbə özlü-yü (KC, kCoul/m<sup>2</sup>);  $Z_5$  – nisbi sıxlıq ( $\Theta$ , %).

Alınmış qaydalar əsasında aparılmış hesabat göstərib ki, verilmiş xassələrə aşağıdakı tərkibdə nail olunur:

$$y_1 = 55; y_2 = 41.5; y_3 = 8.5,$$

burada  $y_1$  – dəmir ovuntusunun miqdarı (kütlə, %);  $y_2$  – çuqun ovuntusunun miqdarı (kütlə, %);  $y_3$  – şüşə ovuntusunun miqdarı (kütlə, %).

Şixtənin tərkib seçiminin eksperimental əsaslandırılmasında, optimallaşdırma üçün parametrlər kimi çuqunun və şüşənin miqdarını,



eləcə də onların hissəciklərinin dispersliyi götürülmüşdür. Prizma formalı (55×10×10mm) nümunələrin preslənməsini 1000 MPa təzyiqdə adi şəraitdə, bişirməni isə 1150<sup>0</sup>C-də, endotermik qaz mühitində bir saat müddətində aparılmışdır [6]<sup>9</sup>.

Tərkibində zərrəciklərinin ölçüsü 100-160 mkm 30-50 küt.% çuqun və 50-200 mkm 2-6 küt.% şüşə ovuntusu olan nümunələr daha yüksək mexaniki xassələrə malik olurlar.

Materialın sürtünmə əmsalını ( $f$ ) və yeyilməni ( $J$ ) quru sürtünmədə standart maşında (CMIQ-2) prizma (oymaq) formalı nümunə sxemi üzrə öyrənilmişdir. Oymaq 50HRC bərkliyə qədər tablanmış 45 poladından hazırlanmışdır. Nümunənin üzərinə düşən təzyiq sabit olub və 1.0 m/san sürüşmə sürətində 4,0 MPa təşkil etmişdir. Nümunələr adi şəraitdə 1000 MPa təzyiqdə preslənib və endoqaz mühitində 1150<sup>0</sup>C temperaturda bişirmişdir. Belə yüksək presləmə təzyiqinin seçimi çuqun və şüşə ovuntularına görə şixtənin pis preslənməsi ilə izah edilir.

Çuqun və şüşə ovuntularının miqdarından  $f$  və  $J$ -nin asılılığı göstərir ki, çuqun ovuntusunun şixtədə miqdarının 10-50 küt.% miqdarında artması (şüşə ovuntusunun miqdarı 6 küt.% olduqda)  $f$  və  $J$ -nin azalma ənənəsini saxlayır. Sonradan onlar kəskin artırlar, və bu belə tərkibli materialın aşağı mexaniki xassələrinin olması səbəbindən yeyilmənin intensivləşməsi ilə əlaqəlidir. Beləliklə, tərkibində 50 küt.% çuqun olan material yüksək antifriksion xassələrə malik olur, hansı ki, tədqiqat üçün istifadə edilib.

Şixtədə 6 küt.%-miqdarında şüşə olduqda daha yüksək antifriksion xassələrə nail olunmuşdur. Şixtədə şüşə ovuntusunun miqdarını 10 küt.% qədər artırıdıda materialın kövrəkliyi artmış, bərk hissəciklərin dağılmasına, yəni abraziv yeyilməyə səbəb olmuşdur. Şüşənin miqdarı 6 küt.%-dən aşağı olduqda  $f$  və  $J$  əhəmiyyətli dərəcədə yüksək, mexaniki xassələr isə aşağı olmuşdur.

Bişirmə temperaturunun və müddətinin  $f$  və  $J$ -nə təsiri öyrənilib. Bişirmə temperaturu 1050<sup>0</sup>C-dən 1150<sup>0</sup>C-ə qədər artdıqda  $f$  və  $J$  yüksək olur, və bu materailin möhkəmlənməsi və şüşənin sitallaşması ilə

---

<sup>9</sup> Cabbarov T.Q., İbrahimov A.M. ЖЧ30Сг6 ovuntu kompozisiya materialının struktur və xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri.

izah olunur. Bişirmə temperaturunun 1150<sup>0</sup>C qiymətində bişirmə müddətinin 1-3 saat intervalında dəyişməsi başlanğıcda *f* və *J*-ni yaxşılaşdırır, sonra isə pisləşdirir. Bu strukturada ərimiş şüşənin iri ölçülü faza toplantısının əmələ gəlməsilə əlaqəlidir.

Həmçinin şüşə markasının xassələrə təsirinin tədqiqatları aparılmışdır. Nümunələr “tərləyən” matrisadan istifadə edilməklə pres-qəlibdə 1000MPa təzyiqdə preslənmiş və 1150<sup>0</sup>C temperaturda bişirilmişdir (cədvəl 1). Cədvəl 1-dən aydın olur ki, dəmir əsaslı yeyilməyə davamlı material (tərkiblər 1-3) kifayət qədər yüksək mexaniki və anti-friksion xassələrə malikdir. Şixtə tərkibində başqa markalı şüşədən istifadə (tərkiblər 4, 5) xassələrin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bu onunla izah edilir ki, vakuumlu şüşənin tərkibində çoxlu miqdarda SiO<sub>2</sub>, MnO, Ba<sub>2</sub>O<sub>3</sub> və onlar səthlərində oksidlər olan dəmir və çuqun zərrəcikləri ilə yaxşı islanırlar [51]<sup>10</sup>.

Çuqunun və şüşənin miqdarının uyğun olaraq 10-2 küt.%-dən az olması materialın mexaniki xassələrinin aşağı düşməsinə, onların miqdarının 50 və 10 küt.%-dən çox olması isə ovuntu şixtəsinin preslənmə prosesinin çətinləşməsinə səbəb olur.

Metal-şüşə materialların möhkəmliyinin artırılması üçün işlənmiş üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, prespəstahlar bişirilmədən öncə 571-600<sup>0</sup>C temperaturda 2 saat müddətində “ELİNO” tipli sobada buxartermiki oksidləşməyə uğradılır. Oksidləşdirilmiş nümunələrin bişirilməsi 1150<sup>0</sup>C temperaturda bir saat izotermiki saxlamaqla “KOYO-LİNDBERQ” tipli sobalarda endotermiki qaz mühitində aparılıb.

Oksidlərin reduksiya olunmasının qarşısını almaq məqsədilə nümunələr metal qablarda yerləşdirilib və üzərlərinə talk ovuntusu tökülüb.

---

<sup>10</sup> Джаббаров Т.Г. Разработка композиционных порошковых материалов «железо-чугун-стекло» для деталей бытовой техники. // Дис.на соиск. уч. степ. канд.техн.наук.

## Cədvəl 1

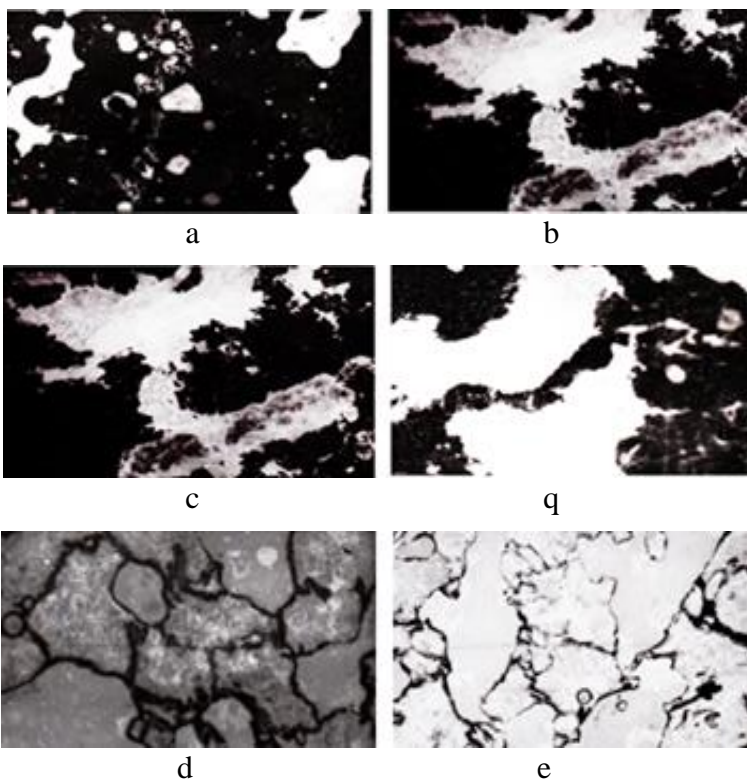
### Şixtlərin tərkibi və onlardan alınan materialların xassələri

Şixtdə komponentlərin miqdarı,şək.%		Çuqunun tərkibi, küt.%	Çuqunun tərkibi, küt.%					Çuqun ovuntusunun dispersiyi,mkm	Şüşə ovuntusunun dispersiyi,mkm	Çuqun və şüşə ovuntularının dispersliklərinin nisbəti	Bişirilmiş materialların xassələri			
			C	Si	Mn	P	S				$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_u$ , MPa	KC, kCoul /m <sup>2</sup>	f
Çuqun ovuntusu	Şüşə ovuntusu	Şüşə markası												
10	2	C88-5	3,8	1,5	0,5	0,05	0,05	10	100	1:0,1	312	453	95	0,15
30	4	C88-5	3,4	2,1	0,75	0,075	0,075	50	150	1:0,3	322	475	116	0,14
50	6	C88-5	3,8	2,8	1,0	0,1	0,075	100	200	1:0,5	329	490	125	0,12
50	6	N <sub>40</sub>	3,4	2,1	0,75	0,075	0,075	50	150	1:0,3	314	340	78	0,22
50	6	N <sub>46</sub>	3,4	2,1	0,78	0,075	0,075	50	150	1:0,3	309	350	80	0,21

Talk dəmir, silisium, manqan və şüşə oksidlərinin qarşılıqlı təsirini fəallaşdırır. Su buxarı ilə oksidləşdirilmiş, 400, 700 və 1000 MPa təzyiqlərdə preslənmiş, bişirilmiş ЖЧ10С2 və ЖЧ20С4 materiallarının mikrostrukturu şəkil 3-də verilmişdir.

Bişirmə prosesində “dəmir-şüşə” sistemində şüşə əriyir, onun sərhəddində metalla sərbəst SiO<sub>2</sub>-in metalın oksidi ilə qarşılıqlı təsiri baş verir. Sonra oksidlər şüşədə həll olurlar və kompleks birləşmələr-silikatlar əmələ gətirirlər. Dəmir və çuqun ovuntularının səthində olan oksidlərin ərimə temperaturu şüşənin ərimə temperaturundan yüksək olduğu üçün onların şüşədə həll olması maye fazanın iştirakı ilə gedir.

Bu mexanizim “dəmir-çuqun-şüşə” sistemli materiallarda bir az başqa cür baş verir. Qrafit tərkibli çuqun aktiv reduksiya reagenti olduğundan, qızdırıldıqda metal səthindən oksidlərin çıxarması təhlükəsi yaranır və nəticədə onların şüşə ilə islanması müşahidə edilmir. Buna görə müxtəlif cinsli zərəciklərin “qohum” fazalarının və aşqarlarının səthində onların bişirmədə fazalar arası qarşılıqlı təsirini təmin edən prinsip təklif edilib.



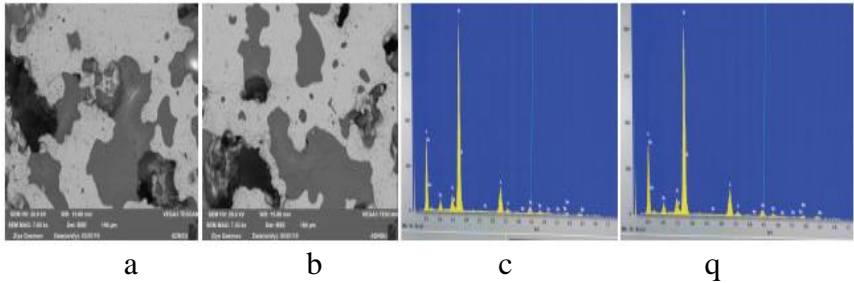
**Şəkil 3. “Dəmir-çuqun-şüşə”nin mikrostrukturunu, x 400:**

a,b; c,q; d,e – presləmə təzyiği, müvafiq olaraq 400; 700 və 1000 MPa; a,b,c; q,d,e – çuqunun və şüşənin miqdarı, müvafiq olaraq 10 və 2; 20 və 4 küt.%

Bu prinsip bişirilməmiş pəstahların buxartemiki oksidləşməyə uğradılması yolu ilə həyata keçirilir. Müəyyən edilmişdir ki, bu zaman əmələ gələn çətin reduksiya olunan oksidlər  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  həmçinin dəmirin oksidləri bişirmədə şüşədə yaxşı həll olurlar [221]<sup>11</sup>, (şəkil 4).

Bişirilmiş  $\text{ЖЧ10С2}$  və  $\text{ЖЧ20С4}$  ərintiləri aydın görünən heterogen struktura – metal matrisinə və bərabər paylanmış şüşə içqarışıqlarına malik olurlar.

<sup>11</sup> Saturation of glass particles with meal during sintering of a composite material of the iron-glass system Jabbarov T.G., Aslanov J.N,Shahmarova R.S.



**Şəkil 4. “Dəmir-şüşə”, “dəmir-çuqun-şüşə”  
materialların tərkibində olan Mn, Si və Fe-lə  
şüşə zərrəciklərinin zənginləşməsi:  
a,c – “dəmir-şüşə”; b,q – “dəmir-çuqun-şüşə”**

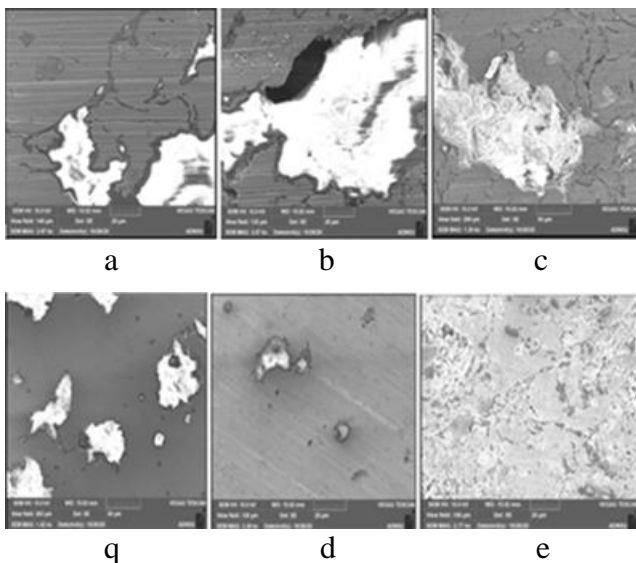
Metal matrisanın strukturu perlit və ferritdən ibarətdir, ЖЧ20С4 ərintisində həmçinin strukturda-sərbəst sementit müşahidə olunur. Şüşə zərrəcikləri bişirmə prosesində öz formalarını qəlpə şəkildən daha dairəvi formaya dəyişirlər (şəkil 5).

Birinci heterogenlik səviyyəsi metal matris və şüşə daxilolmalar arasında, ikincisi isə həm bərk, həm də yumşaq daxilolmaları ehtiva edən matrisin özündə müşahidə olunur.

Presləmə təzyiqinin 400-dən 1000 MPa-kimi artımı buxarla oksidləşdirilmiş və bişirilmiş materialların  $\sigma_b$ ,  $\sigma_u$  və KC mexaniki xassələrini yüksəldir (şəkil 6-8). Presləmə təzyiqi 400-dən 700 MPa-a kimi artırdıqda  $\sigma_b$  əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlir. Onun sonrakı 1000 MPa-a kimi artımı möhkəmliyin artma intensivliyini azaldır.

ЖЧ20С4 ərintisində belə şəraitlərdə möhkəmlik bir az aşağı olur (şəkil 6). Bu onunla izah edilir ki, presləmə təzyiqini 1000 MPa-la kimi qaldırılması tərkibində 20 küt.% çuqun və 4 küt.% şüşə olan ərintində şüşə zərrəciklərinin dağılmasına və preslənmələrdə çat və qırılma mənbələrinin yaranmasına səbəb olur.

Şixtədə çuqunun və şüşənin miqdarının artması materialların möhkəmliyinin artmasına da səbəb olur. Çuqunun miqdarı artdıqda karbonun miqdarı da artır, bu isə austenitin karbonla zənginləşməsini təmin edir.

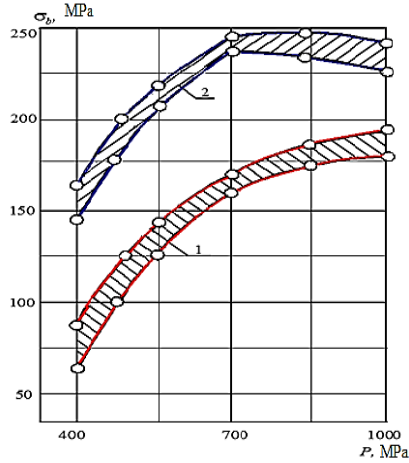


**Şəkil 5. Bişirmə prosesində şüşə zərrəciklərin formasının dəyişməsi:**

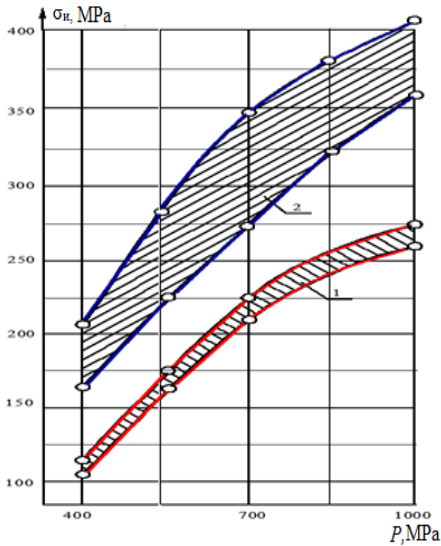
a,b; c,q; d,e – presləmə təzyiqi müvafiq olaraq 400, 700 və 1000 MPa; a,b,c; q,d,e – müvafiq olaraq çuqunun və şüşənin miqdarı 10 və 2; 20 və 4 küt.%.

Şüşənin miqdarının artması isə çoxkomponentli sistemin islanmasını yaxşılaşdırır. Presləmə təzyiqi artdıqca  $\sigma_u$  kəskin yüksəlir. (şəkil 6). Çuqunun və şüşənin miqdarı müvafiq olaraq 20 və 4 küt.%-nə qədər artdıqda  $\sigma_u$  yüksəlir (şəkil 7). Şixtdə şüşə nə qədər çox olsa, ərintidə maye faza bir o qədər çox olur və bu, bişirmədə məsaməli karkasın daha güclü homogenləşməsi və oturmasına səbəb olur.

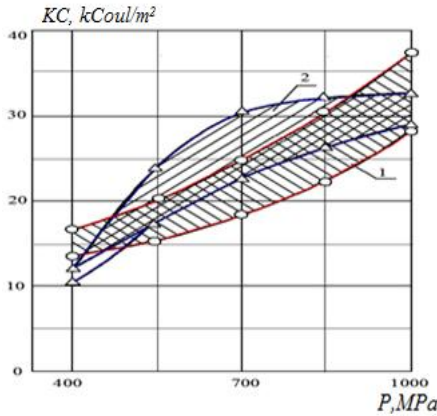
Nümunələrin KC qrafikinə presləmə təzyiqindən asılılığı analoji “ $\sigma_u$ ” qrafikindən fərqlənmir (şəkil 8). Ancaq materiallarda çuqun və şüşənin miqdarının artması demək olar ki, KC-ni artırır, bu ondan irəli gəlir ki, bu komponentlər təbiətə kövrəkdirlər.



**Şəkil 6. Materialların  $\sigma_b$  nin şıxtədə çuqun və şüşənin miqdarından və presləmə təzyiqindən asılığ:**  
 1, 2 – şıxtədə uyğun olaraq çuqunun və şüşənin miqdarı 10;20 və 2;4 küt.%



**Şəkil 7. Materialların  $\sigma_u$  nin şıxtədə çuqun və şüşənin miqdarından və presləmə təzyiqindən asılığ:**  
 1; 2 – şıxtədə uyğun olaraq çuqunun və şüşənin miqdarı 10; 20 və 2;4 küt.%



**Şəkil 8. Materialın “KC”-nin şixtədə çuqunun və şüşənin miqdarından və presləmə təzyiqindən asılılığı:**

1; 2 – müvafiq olaraq şixtədə çuqunun və şüşənin miqdarı 10; 20 və 2;4 küt.%

“Dəmir-çuqun-şüşə” prespəstahlarının buxarla oksidləşdirilməsi prosesinin tədqiqatları ilə yanaşı, həm də havada oksidləşmənin mexaniki xassələrə təsiri də öyrənilmişdir.

Oksidləşdirmə 200, 400 və 600°C temperaturalarda qoruyucu mühit olmayan şəraitdə adi sobada aparılıb və izotermiki saxlama müddəti 1-3 saat olub. Presləmə prosesi 1000 MPa təzyiqdə adi şəraitdə aparılmışdır. Oksidləşdirilmiş prespəstahlar 1150°C temperaturda endoqaz mühitində sobada bişirilmişdir.

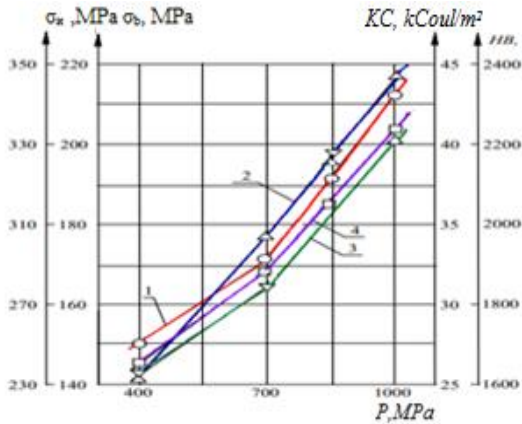
Bişirilmiş materialın xassələrinə oksidləşdirmə temperaturunun təsiri öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, ən yaxşı xassələr 200°C oksidləşmə temperaturunda və 1 saat izotermiki saxlama müddətində alınır. Lakin daha yüksək bərklik 400°C oksidləşdirmə temperaturunda müşahidə olunur, oksidləşmə temperaturunun 600°C-yə qədər artımı nümunələrin zərbə özlüyünü kəskin aşağı salır, bu oksidləşdirmədə materialın kövrəkliyinin artması ilə izah olunur.

Bişirilmiş materialın 200°C temperaturda mexaniki xassələrinin oksidləşmə müddətindən asılılığının tədqiqi göstərir ki, nümunələrdə ən yüksək  $\sigma_b$ ,  $\sigma_u$ , KC və HB oksidləşmənin 1 saat müddətinə təsadüf edir. Bu şüşədə baş vermiş struktur dəyişiklikləri və metal oksidləri ilə şüşə



arasında gedən kimyəvi qarşılıqlı təsirlə əlaqəlidir [52]<sup>12</sup>. Şüşə dəmir-lə, matrisa isə silisiumla yaxşı zənginləşir.  $\alpha$ -Fe-da silisiumun həll olması materialın zərbə özlüyünü 1,5 dəfə artırır, qəfəsin parametrlərini kiçildir və onun plastikliyini artırır.

Sonda oksidləşmiş nümunələrin mexaniki xassələrinin texnoloji parametrlərlə - presləmə, bişirmə ilə qarşılıqlı əlaqəsi öyrənilmişdir. Şəkil 8 və 9-dan alınan məlum göstəricilərə əsasən, ümmlikdə nümunələrdə ən yaxşı mexaniki xassələrə 200°C oksidləşmə temperaturunda və 1 saat izotermiki saxlamada nail olunmuş və buna görə də sonrakı eksperimentlər məhs bu rejimlərdə aparılmışdır. Şəkil 9-dan görüldüyü kimi prespəstahların presləmə təzyiği artdıqca onların mexaniki xas-sələri də artır və bu ümumi qəbul edilmiş qanunauyğunluqla uzlaşır.



**Şəkil 9. ЖЧ50С6 materialının mexaniki xassələrinin presləmə təzyiqindən asılığ:**

1 –  $\sigma_B$ ; 2 –  $\sigma_{0.2}$ ; 3 – KC; 4 – HB

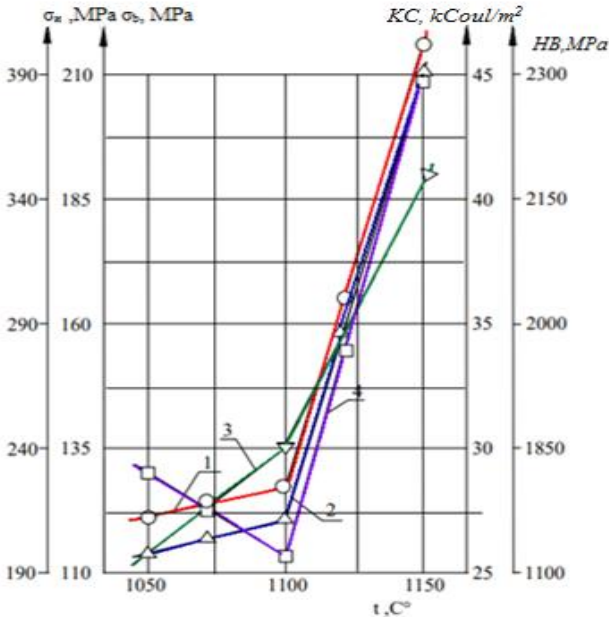
Beləliklə, bişirmədən öncə nümunələrdə oksidləşdirmənin aparılması materialın mexaniki xassələrinin presləmə təzyiqindən asılı olaraq formalaşdırma xarakterini dəyişmir. Buna görə dəmir-çuqun-şüşədən yüksək mexaniki xassəli nümunələrin alınması üçün presləmə təzyiqinin 1000 MPa qiyməti optimal qəbul edilmişdir.

<sup>12</sup> Джаббаров Т.Г., Бабаев А.И. Влияние режимов спекания порошковых оксидированных заготовок на их механические свойства.

1000 MPa təzyiqdə preslənmiş nümunələrin bişirmə temperaturu 1050-dən 1100°C-yə kimi artdıqca  $\sigma_b$ ,  $\sigma_u$ , KC tədricən artır, HB isə azalmağa başlayır. Nümunələrin bişirmə temperaturunun sonrakı 1150°C-yə kimi artması bütün mexaniki xassələrin əhəmiyyətli artmasına səbəb olur (şəkil 10). Buna görə bu temperatur verilmiş materiallar sinfi üçün optimal hesab olunur.

Bu temperaturda oksidləşmə nəticəsində səthdə yaranan “qohum” fazalar (oksidlər) daha da intensivləşirlər.

Bişirmə müddətinin 1-dən 2 saata qədər artırılması  $\sigma_u$ , KC-ni artırır və  $\sigma_b$  və HB-ni azaldır. Bu isə şüşənin sitallaşması və onun özlüyünün artması ilə əlaqədardır. Bişirmə müddətinin sonrakı 3 saata qədər artması materialın  $\sigma_b$ ,  $\sigma_u$  və KC-ni azaldır, HB-ni isə əksinə artırır. Bu ərimiş şüşədə miqrasiyanın güclənməsi və materialın strukturunda heterogenliyin artması ilə izah olunur.



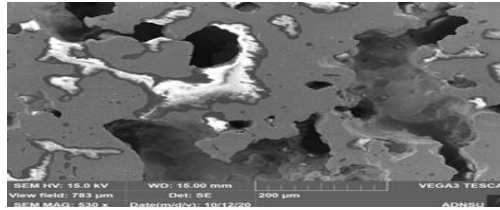
**Şəkil 10. ЖЧ50С6 materialının mexaniki xassələrinin bişirmə temperaturundan asılılığı:**

1-  $\sigma_b$ ; 2-  $\sigma_u$ ; 3-KC; 4-HB

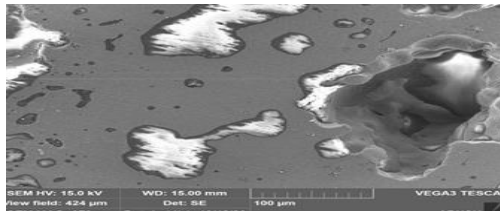
Bişirmədən öncə buxaroksidləşməyə uğradılmış materialın tribotexniki xarakteristikaları cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, quru sürtünmə şəraitində 2-8 MPa yükləmədə çuqunun və şüşənin miqdarı artdıqca kompozitin sürtünmə əmsalı azalır.

Burada qrafit içqarışıqları və kompleks birləşmələr – silikatlar müsbət rol oynayır, belə ki, əritidə çuqunun və şüşənin miqdarları artdıqca onlarında miqdarı çoxalır. Nümunələr “tərləyən” matrisalı pres-qəlipdə presləniblər.

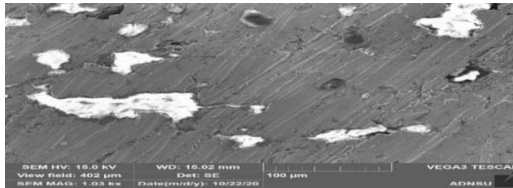
Başqa sözlə, bu zaman şüşənin iri ölçüdə toplanması yaranır və bu da bərkliyə müsbət təsir göstərərək materialın kövrəkliyini artırır (şəkil 11).



a



b



c

**Şəkil 11. Bişirmənin 3-saat müddətində 1150<sup>0</sup>C-də strukturada iri şüşə toplusunun əmələ gəlməsi:**  
a-ЖЧ10С2; b-ЖЧ20С4; c-ЖЧ50С6

Yeyilməyə davamlığa görə ЖЧ10С4 ərintisi ЖЧ20С4 ərintisi ilə müqayisədə daha yaxşı göstəricilərə malik olur. Əgər bu ərintiləri iş qabiliyyətinə görə təsnifatlaşdırsaq, onda aşağıdakı ardıcılığını tətbiq etmək olar. ЖЧ10С2 ərintisi 20% məsaməliklə 6 МPa-la qədər, 14% – 8 МPa-la qədər, 10% – 10 МPa-la qədər iş qabiliyyətli olur. ЖЧ20С4 ərintisi 22% məsaməliklə 4 МPa-la, 13-16% – 6 МPa-la qədər iş qabiliyyətli olur. Bu onunla izah olunur ki, çuqunun və şüşənin miqdarı artdıqca, sonuncular əsas etibarilə ərintinin mexaniki xassələrini aşağı salır. Yükləmənin 2 МPa həddində iş qabiliyyətləri arasındakı fərq, yuxarı yükləmə qiymətində olduğu kimi tam aydın izləmək olmur.

ЖЧ50С6 materialının tribotexniki xarakteristikalarına oksidləşdirmə temperaturunun və müddətinin təsiri 2 МPa yükləmə altında quru sürtünmə şəraitində öyrənilib. Nümunələr adi şəraitdə 1000 МPa təzyiqdə preslənib. Ən aşağı  $f$  və  $J$  nümunələri 2 saat müddətində 200°C temperaturda oksidləşdirdikdə alınır. Oksidləşdirmə temperaturunu yüksəltdikdə iri ölçülü oksid içqarışıqları əmələ gəlir, hansılar ki, ovuntu nümunələrinin həm mexaniki, həm də tribotexniki xassələrinə mənfi təsir göstərir.

Oksidləşdirmə müddətinin artırılması da antifriksion xassələrə mənfi təsir göstərir. Ən aşağı  $f$  və  $J$  oksidləşmənin 200°C temperaturunda və 1,0 saat izotermiki saxlama müddətində nail olunur. Dəmirin və çuqunun zərrəciklərinin, həmçinin məsamə və məsamə kanalların oksidlərlə intensiv artması mexaniki və antifriksion xassələrin formalaşmasına mənfi təsir göstərir.

Bununla yanaşı, qeyd etmək lazımdır ki, bişirilmiş materialların antifriksion və mexaniki xassələrini artırmaq məqsədi ilə müxtəlif növ zərrəciklərin səthində “qohum” fazaların və içqarışıqların formalaşdırılma prinsipi səmərəli olur.

Elastiki-plastiki mühitdə məsaməli cisimlərin və dəmir-çuqun-şüşə materialının soyuq preslənməsinin riyazi modelləri qurulmuşdur. Elastiki-plastiki mühitdə sıxlaşmanın nəzəri qiymətləndirilməsi üçün tərəfimizdən tərkibi xüsusi boz çuqun, ПЖ2М3 markalı dəmir (ГОСТ9849-86-Rusiya) və С88-5 markalı ОСТ11027 vakuum şüşə ovuntularından ibarət şixtədən istifadə edilmişdir. Çuqun ovuntusunun tərkibi ibarət olub (küt.%-lə): karbon 3,6-3,8; silisium 1,5-2,8; manqan 0,5-1,0; fosfor 0,05-0,1; kükürd 0,05-0,1. Bu çuqun ТУ16-89

БАИК411100.006ТУ üzrə istehsal olunur. Şixtənin komponentləri aşağıdakı küt.% nisbətində götürülüb: çuqun ovuntusu – 45; vakuumlaşmış şüşə – 5 və qalanı dəmir ovuntusu.

Komponentlərin belə miqdarı elastiki-plastiki mühitin alınmasını təmin edir.

700 MPa təzyiqdə soyuq preslədikdən və prespəstahları endotermiki qaz mühitində 1150<sup>0</sup>C temperaturda bişirdikdən sonra 12% məsaməlikli cisim alınmışdır.

**Cədvəl 2**

**Dəmir-çuqun-şüşənin quru sürtünmədə tribotexniki xarakteristikaları**

Sürtünmədə yükləmə, MPa	Nümunələrin presləmə təzyiqi, MPa		
	400	700	1000
2	<u>0,194 – 0,20</u>	<u>0,194 – 0,20</u>	<u>0,155 – 0,175</u>
	30	8	8
	<u>0,155 – 0,163</u>	<u>0,163 – 0,18</u>	<u>0,175 – 0,182</u>
4	12	12	6
	<u>0,165 – 0,17</u>	<u>0,194 – 0,21</u>	<u>0,155 – 0,19</u>
	110	102	62
6	<u>0,136 – 0,145</u>	<u>0,139 – 0,145</u>	<u>0,145 – 0,155</u>
	250	86	76
	<u>0,155 – 0,159</u>	<u>0,177 – 0,18</u>	<u>0,155 – 0,16</u>
8	310	160	92
	<u>0,148 – 0,155</u>	<u>0,129 – 0,134</u>	<u>0,142 – 0,145</u>
	445	243	510
10	<u>0,143 – 0,147</u>	<u>0,150 – 0,155</u>	<u>0,131 – 0,136</u>
	2000	380	274
	<u>0,124 – 0,126</u>	<u>0,136 – 0,14</u>	<u>0,130 – 0,136</u>
12	2000	1900	1200
	-	<u>0,143 – 0,146</u>	<u>0,147 – 0,25</u>
	-	800	242
12	-	-	0,153-0,155

Məsaməli cisimdə deformasiyanın ortaqvadratik gərginlik və

sürət anlamı əsasında, hansı ki, [104]<sup>13</sup>, [105]<sup>14</sup> işlərində geniş baxılmışdır, məsaməli cisimlərin elastiki-plastiki mühitdən ibarət plastiki axının modeli təklif olunmuşdur. Mövcud olan modellərdən fərqli olaraq bu model məsaməli cismin plastiki deformasiyasının gedişini yalnız onun mövcud məsaməliyi ilə deyil, əsas materialda yığılmış plastiki deformasiyanın ölçüsü ilə də səciyyələndirməyə imkan verir. Beləliklə, [104]<sup>13</sup> işdə təklif olunan məsaməli cismin plastiklik nəzəriyyəsi bu mühitin həndəsi və fiziki möhkəmləndirmə amillərini nəzərə alır.

Mexanikanın bütöv mühitlərin ümumi metodologiyasına uyğun olaraq, deformasiya sürətinin və gərginliyin tenzorlarının komponentləri, hansılar ki, tədqiq edilən elastik-plastik mühitin makrohalını izah edir, əsas saxlama qanunlarını təmin etməlidir. Buna görə tarazlıq

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{d\tau_{rz}}{dr} + \frac{\tau_{zz}}{r} = 0 ; \quad (2)$$

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{d\tau_{rz}}{dz} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \quad (3)$$

və bölünməzlik tənlikləri

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = \frac{\dot{\theta}}{1 - \theta}$$

əhəmiyyət kəsb edir.

[104]<sup>13</sup> uyğun olaraq deformasiyanın sürəti ümumiləşdirilmiş qanunla əlaqəlidir, hansı ki, gərginlik deviatorlarını və deformasiya sürətini uyğunluq nisbətlərinə (4)

$$\frac{\dot{\epsilon}_z - \frac{1}{3}\dot{\epsilon}}{\sigma_z - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\epsilon}_r - \frac{1}{3}\dot{\epsilon}}{\sigma_r - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\epsilon}_\varphi - \frac{1}{3}\dot{\epsilon}}{\sigma_\varphi - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\gamma}_{rz}}{\tau_{rz}} , \quad (4)$$

həmçinin aşağıdakı tənliyə gətirir

$$\dot{\gamma}p\varphi(\theta) = \dot{\epsilon}t\psi(\theta) . \quad (5)$$

<sup>13</sup> Мартынова И.Ф., Скороход В.В., Штерн М.Б. Исследование радиального и осевого уплотнения пористого тела методами механики сжигаемого континуума.

<sup>14</sup> Мартынова И.Ф., Штерн М.Б. Уравнение пластичности пористого тела, учитывающее истинные деформации материала основы.

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{d\tau_{rz}}{dr} + \frac{\tau_{zz}}{r} = 0 ; \quad (2)$$

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{d\tau_{rz}}{dz} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \quad (3)$$

və bölünməzlik tənlikləri

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = \frac{\dot{\theta}}{1 - \theta}$$

əhəmiyyət kəsb edir.

[104]<sup>13</sup> uyğun olaraq deformasiyanın sürəti ümumiləşdirilmiş qanunla əlaqəlidir, hansı ki, gərginlik deviatorlarını və deformasiya sürətini uyğunluq nisbətlərinə (4)

$$\frac{\dot{\varepsilon}_z - \frac{1}{3}\dot{\varepsilon}}{\sigma_z - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\varepsilon}_r - \frac{1}{3}\dot{\varepsilon}}{\sigma_z - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\varepsilon}_\varphi - \frac{1}{3}\dot{\varepsilon}}{\sigma_\varphi - \frac{1}{3}\sigma} = \frac{\dot{\gamma}_{rz}}{\tau_{rz}} , \quad (4)$$

həmçinin aşağıdakı tənliyə gətirir

$$\dot{\gamma}\rho\varphi(\theta) = \dot{\varepsilon}\tau\psi(\theta) . \quad (5)$$

(5) tənliyi öz əvvəlki həcminə qayıtmadan məsaməli elastiki-plastiki mühitin sıxılmasını səciyyələndirir. Bu tənlik göstərir ki, material o vaxt sıxlaşır ki, hidrostatik təzyiç sıfıra bərabər olmur, amma P-nin dəyişməz qiymətində bu hal baş verə bilər. Əgər material məsaməsizdirsə, onda  $\varphi \div \varphi = 0$  nisbəti olur. Aydındır ki,  $\varepsilon = 0$  olur, yəni material sıxlaşmır. Müəyyən edilib ki, məsaməli cismin kifayət qədər böyük radial sıxılmalarında həcm dəyişməsi olduqca azdır, yəni radial deformasiyanın artması ilə məsaməlik praktiki olaraq dəyişmir. Radial sıxılma üçün alınan nəticələr, belə qərara gəlməyə imkan verir ki, məsaməliyin dəyişməsinin  $1/3 < \theta < 2/2$  diapozonunda radial sıxılmada materialın sıxlaşması üçün şərait, bir oxlu ilə müqayisədə daha əlverişlidir.

Dəmir-çuqun-şüşədən bişirilmiş məsaməli cismin formalaşdırılması prosesini iki mərhələyə bölmək olar. Onlardan birincisində cismin həm formasında, həm də həcmində dəyişiklik gedir, ikincidə isə -

yalnız forma dəyişikliyi, yəni cismin sıxlaşması baş vermir. Formalaşmanın birinci mərhələsində həcmi və radial deformasiyanın nisbətli böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Məhdud passiv deformasiya şəraitlərində məsaməli metal-şüşə cisimlərin sıxlaşması tədqiq edilmiş və məsaməli elementin radial sıxlaşma nəticələri (kənardan sərt divarların iştirakı və bağlı pres-qəlibdə sıxılma) alınmışdır. Əsas nəticələr sıxlığın indiki və başlangıç qiymətlərilə onun tələb edilən qiymətini əldə etmək üçün zəruri olan güc parametrlərilə əlaqəlidir. Bizim fikirimizcə, işdə baxılan deformasiya sxemlərinin enerji tutumunun müqayisəli analizini etmək məqsədyönlüdür. Yəqin ki, enerji tutumu optimal sxemi seçməyə imkan verən əsas kriteriyalardan hesab edilə bilər.

Deformasiya olunmaya sərf edilən işin ümumi asılılıq dusturunu çıxardaq. Məlumdur ki, ümumi halda iş  $A$  aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$A = \int_0^t \frac{1}{\rho} \cdot \sigma_{ij} dt \quad (6)$$

Dissipativ funksiyanın birmənəliyi haqqında postulat [171]<sup>15</sup>, həmçinin sıxlıqla məsaməlik arasındakı əlaqə bu ifadəni aşağıdakı şəkildə çevirməyə imkan verir.

$$A = \frac{1}{\rho_k} \int_0^t \sigma_{ij_0} \dot{\epsilon}_{ij_0} dt \quad (7)$$

Hesab edək ki, göstərilən material ideal sərt-plastikdir, sıxılmır və Sen-Benek-Mizesin modeli çərçivəsində izah olunan xassələrə malikdir. Buna görə aşağıdakı nisbət daha düzgündür.

$$\frac{\dot{\gamma}_0}{\tau_0} (\sigma_{ij_0} - P_0 \sigma_{ij}) = \dot{\epsilon}_{ij_0}, \quad (8)$$

bunun köməkliliylə ifadəni  $A$  üçün aşağıdakı şəkildə yazmaq:

$$A = \frac{1}{\rho_k} \int_0^t \tau_0(\gamma_0) \cdot \dot{\gamma}_0 dt \quad (9)$$

və ya

---

<sup>15</sup> Штерн М.Б. и др. Влияние схемы прессования на напряженно-деформированное состояние изделий типа втулок.

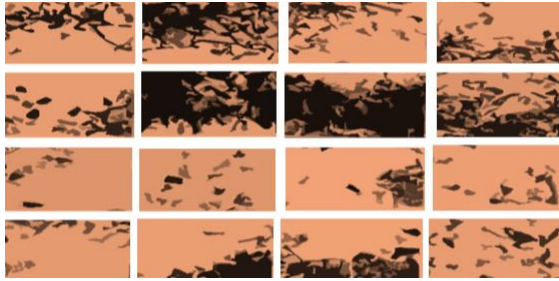


$$A = \frac{1}{\rho_k P} \int_0^{\gamma_0} \tau_0(\gamma_0) \cdot d\gamma_0 \cdot \quad (10)$$

Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, sərt divarlarla radial sıxılma enerjilik baxımından ən sərfəli üsuldür. Bir tərəfli presləmə ondan azacıq sərfəlidir və qeyriməhdud uzununa deformasiyalı radial sıxılma daha az sərfəlidir. Sərbəst oturma üsulu ilə materialın sıxlaşdırılması üçün daha çox enerji məsrəfləri tələb edilir.

Dəmir-çuqun şüşədən məsaməli oymaqların, sərt sağanaqda radial sıxılması aparılıb, hansı ki, enerjilik baxımından daha sərfəli proses hesab edilir. Müəyyən edilmişdir ki, məsaməli oymaqları sərt sağanaq radial sıxdıqda sıxlaşan cismin sıxlığı radius boyunca bərabər paylanır. Bu zaman alınan nəticəyə və məsələnin həqiqi həllərinə ilkin yanaşma kimi baxmaq, yəni iterasiya üsulu ilə tapmaq olar.

Dəmir-çuqun-şüşədən məsaməli pəstahların plastiki deformasiyanın eksperimental qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Bu zaman məsaməli cismin plastiki deformasiyasını qiymətləndirmək üçün mikrostruktur analiz üsullarından (şəkil 12) və bərkliyə sınaqdan istifadə edilmişdir.



**Şəkil 12. Konusvari matrisada sona yetməyən presləmə prosesindən sonra oxboyunca dördə-bir enkəsiyinin mikrostrukturunu, X400**

Mikrostruktur analiz materialın məsaməliyinin paylanması, zərəciklərin deformasiya və onların qarşılıqlı təsiri haqqında təsəvvür yaratmaq, bərkliyə sınaq işə materialların mexaniki xassələrinin və komponentlərin gərginlik-deformasiya halının təyin edilməsi üçün aparılır.

Bişirilmiş silindirik pəstahların bərkliyə sınağı və mikrostruktur analizi, sərbəst oturma ilə deformasiya olunan və konusvari matrisalarda prespəstahlar sonlu elementlər üsulu ilə yerinə yetirilən nəzəri hesablamaların doğruluğunu göstərir.

**Üçüncü fəsilə** dəmir-çuqun-şüşədən məsaməli pəstahların sıxlaşdırılması üçün nəzəri məsələlərə baxılmışdır.

Dəmi-çuqun-şüşədən məsaməli pəstahların və ovuntu şixtələrinin təzyiqlə emal proseslərinin riyazi modeli qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, plastiki axın halında ümumi tenzor nisbətlərilə yanaşı, gərginlik tenzorunun komponentlərinin bir-biri arasında əlaqələndirən skalyar nisbətlər mövcuddur.

Sıxlaşan məsaməli cismin skalyar xassələri məsaməli cismin və ovuntu materialının vəziyyətini səciyyələndirən, məsaməlik və parametrlərin toxunan gərginliklərinin intensivliyindən  $\tau$  və hidrostatik təzyiqdən asılılığı tənliklərlə səciyyələnmə bilər. Funksiyalar  $p$  və  $\tau$  (11) tənliyini təmin edirlər.

$$\frac{dp}{dS} S + \frac{d\tau}{dS} = 0 \quad (11)$$

bu zaman  $p$   $S = l/\gamma$  məhdudlaşan funksiya ilə tədricən artan olur,  $\tau$  isə  $S \leq 0$  olduqda artır,  $S = 0$ -da maksimuma çatır,  $S \geq 0$  da isə azalır:  $|S| \rightarrow \infty$  da;  $\tau \rightarrow 0$  olur. Sıxlaşdırılan materialların plastiki dformasiyada hidrostatik təzyiqli sürüşən deformasiyaya təsir göstərə bilər, toxunan gərginliklər isə həcmnin dəyişilməsinə səbəb ola bilər.

Göstərilənlə yanaşı, səthi yükləmənin tənliklə ifadə edən təyin edici tənliklərin forması mövcuddur.

$$f(p, \tau, \theta, \chi_k) \cong \tau - \tau(p, \theta, \chi_k) = 0 \quad (12)$$

və nisbətə

$$\frac{df}{dp} \cdot \gamma = \frac{df}{d\tau} \cdot \ell \quad (13)$$

Tam qabarıq səthin yüklənməsi halında bu iki formalar ekvivalent olurlar.

Silindir formalı məsaməli pəstahın konusvari matrisadan keçərək sona çatmayan presləmə prosesinin sonlu elementlər üsulunun

həmçinin məsaməli və bimetallik pəstahların dəyişən en kəsikdə konusvari matrisadan keçərək preslənməsinin sonlu elementlər üsulunun məsələlərinin həlli təklif olunmuşdur. Məsaməliyin paylanmasına görə böyük və kiçik deformasiya zonaları təyin edilmişdir. Tədqiq olunan material kimi dəmir-çuqun-şüşədən bişirilmiş pəstahlar istifadə edilib (şixtənin tərkibi – dəmir ovuntusu ПЖ2М3 – 47 küt.%, boz çuqun ovuntusu – 47 küt.%, vakumlaşmış şüşə ovuntusu – 6 küt.%).

Sonlu elementlər üsulu ilə sərt silindrik matrisda məsaməli pəstahların iki tərəfli presləmədə gərginlik deformasiya halı tədqiq edilmişdir. Həmçinin bimetallik pəstahların da sıxlaşması halına baxılmışdır. Məsaməli bimetal silindrik pəstahların bağlı silindrik matrisalarda iki tərəfli preslənməsi göstərir, ki müqayisəcə böyük deformasiyaya (sıxlaşmaya) bimetalın “plastiki” elementləri məruz qalırlar. Həmdə metalın bərk qatı “plastikinin” daxilinə keçir və bu təcrübələrlə də sübuta yetirilmişdir [223]<sup>16</sup>.

Dəmir-çuqun-şüşədən bişirilmiş məsaməli pəstahların plastiki deformasiyasında kinematik və güc parametrlərinin qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, sıxlaşma təzyinin son qiymətləri (materialın əsasının axma həddinə bərabər olan) məsaməliyin sıfır qiymətlərinə uyğun olmasına baxmayaraq, oturmada materialın məsaməsiz halını almaq mümkün deyil. Bu onunla izah edilir ki, nəzəri baxımdan məsaməliyin sıfır həddinə çatmaq üçün sonsuz böyük güc tələb edilir.

**Dördüncü fəsil**də dəmir əsaslı metalşüşə materialların bişirmə prosesinin riyazi modelləşdirilməsi aparılmışdır. Fazalar arası qarşılıqlı əlaqənin və diffuziya prosesinin intensivləşdirilməsi, dəmir-şüşə materialların mexaniki xassələrinin və yeyilməyə davamlığını artırmaq üçün onları şüşə ilə daha yaxşı islana bilən komponentlətlə legirmək lazımdır.

Bu səmərəni almaq olar, məsələn şixtənin tərkibində çuqun ovuntusunu istifadə etməklə, nə qədər ki, çuqunun tərkibində müqayisəcə çox miqdarda silisium və manqan olur, bu komponentlər isə qızdırılmada çətin reduksiya olunan oksidlər əmələ gətirmə xassəsinə

---

<sup>16</sup> Jabbarov T.G. Analysis of the Influence of the Shape of the Matrix on the Compaction of Porous Powder Bodies of “Iron-Cast Iron-Glass” 11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020),

malikdirlər. Əminlik yaranır ki, bu oksidlər bişirmə prosesində şüşə ilə yaxşı islanırlar və bununla da onun metal əsasla möhkəm əlaqə yaratmasına təsir göstəririlər [218]<sup>17</sup>.

İzotermiki saxlamanın başlanmasına qədər istifadə edilən temperaturun sürətlə artması dövründə, bişirmə prosesində fəal ovuntular adətən kifayət qədər sıxlaşmaya elə sürətlə çatırlar ki, bu sürət izotermiki (maye fazalı) bişirməyə keçəndən sonra mövcud olan sürətdən olduqca çox olur.

Oturmanın riyazi izahı üçün dəyişən asılığın seçimi həlledici əhəmiyyət kəsb edir. Belə dəyişən asılıq kimi məsamələrin nisbi həcmindən  $\vartheta_c/\vartheta_n$  istifadə etmək məsləhət görülür, burada  $\vartheta_c$  və  $\vartheta_n$  – nümunənin məsamələrinin bişirməyə qədərki və sonrakı həcmidir. Cismnin məsaməlik nisbətinin bişirmədən sonra və bişirməyə qədər ki, qiymətinə yaxın müxtəlif sıxlıqlı cisimlərdə bişirməyə qədərki  $\Pi_c/\Pi_n$  qiymətlərinə yaxın müxtəlif sıxlıqlı cisimlər bişiriləndə məsaməli cismnin sıxlığı  $d_n$  [q/sm<sup>3</sup>] azacıq dəyişəndə,  $\Pi_c/\Pi_n$  nisbəti bişirmə prosesində sabit olmur və bu aşağıdakı asılıqdan irəli gəlir (II-məsaməli cismnin həcmində düşən məsaməlikdir).

$$v_c/v_n = [d_n(d_k - d_c)]/[d_c(d_k - d_n)]; \quad (14)$$

$$\Pi_c/\Pi_n = (d_k - d_c)/(d_k - d_n) \quad (15)$$

burada  $d_c$  – məsaməli cismnin bişirmədən sonrakı sıxlığı;  $d_k$  – kompakt (məsaməsiz) maddənin sıxlığıdır.

(14) və (15) dən tapırıq

$$\frac{v_c}{v_n} \cdot \frac{\Pi_c}{\Pi_n} = \frac{d_n}{d_c} \quad (16)$$

(15)-dən sadə cəbri çevirmələrdən sonra məsaməlik  $\Pi_c$  və həcmi oturma  $\Delta V/V_0$  arasında aşağıdakı nisbəti alırız:

$$\Pi_c = 1 - \frac{1 - \Pi_0}{1 - \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^2} \quad (17)$$

Hissəciklərinin forması dairəvi olan ovuntular üçün zərrəciklər arası əlaqənin maksimum qiymətinə çatdıqda, həcmi oturma  $\Delta V/V_0$

---

<sup>17</sup> Jabbarov T.G., Dyshin O.A., Babanlı M.B., Abbasov I.I. Modelling of the Sintering Process of IronBased Metal-Glass Materials. – Progress in physics of metals.

arasındakı nəzəri asıllıq əlaqə zonasının həndəsi analizi əsasında alınır. Həcmi və ya səthi öz-özünə diffuziya mexanizminə görə bişirmə-də əlaqənin yaranması zərrəciklərin yaxınlaşması ilə baş vermir, yəni həcmi oturma bu halda olmur. Əgər yapışma özlülü axının və ya sərhəd əlaqələrində vakansiyaların diffuziya hesabına olursa, vakansiyaların qeyri-məhdud udulması baş verirsə, onda bu halda zərrəciklərin nisbi yaxınlaşması, yəni oturma  $\Delta l/l_0$ , və həcmi oturma arasında  $\Delta V/V_0$  aşağıdakı nisbət alınır.

$$\Delta V/V_0 = 3 \Delta l/l_0 \quad (18)$$

Bişirmənin kinetikasının ideallaşdırılmış modellərində adətən ehtimal olunur ki, bişirmə vaxtı kütlə axının hər hansı bir mexanizmi işləyir və kütlə axını iki eyni mühit arasındakı əlaqə nöqtəsində baş verir.

Lakin, hökmən nəzərə almaq lazımdır ki, real nümunələrin bişirilməsində zərrəciklər müxtəlif forma və ölçüdə ola bilərlər və hər bir zərrəcik eyni vaxta bir neçə zərrəciklə təmasda olur, həm də praktiki-də əlaqə ideal (nöqtəvi) olmur və zərrəciklər təmas yerlərində, adətən təmas yarananda yastılaşırlar. Ancaq, əsası odur ki, kütləaxını real nümunələrdə hər hansısa bir proseslə deyil, bir neçə proseslə nəzarətdə saxlanılır.

Bişirmənin başlanğıc mərhələsi zərrəciklər arasında “boğazcılıq” əmələ gəlməsi və böyüməsilə səciyyələnir, nümunənin oturması müşahidə edilir. Kütlə axınına yalnız buxarlanma kondensasiya baş verdikdə təsadüf edilmir. Bişirmənin ilkin mərhələsində oturma cəmi bir neçə faizə çatır və o vaxta qədər davam edir ki, nümunədəki məsələlər demək olar ki, tamamilə bir-birilə əlaqəli olur və bütün həcmə nüfuz edirlər. Bişirmə prosesində ovuntu materialının topoloji fasiləsiz struktur dəyişikliyi vəziyyətində məsələli mikrostrukturun xətti parametrinin ( $\lambda$ ) dəyişmə xarakterinin kinetikasının miqdarca analizi-ni dispers sistemlərin diffuziya koalesensiyasının ümumi nəzəriyyə-sinin köməyi ilə həyata keçirmək olar ( $\lambda$  – nümunə zərrəciyinin orta ölçüsü). Əgər kütlə axının əsas mexanizmi səthi diffuziya hesab edilərsə, onda  $L$  üçün kinetik tənlik bu şəkildə olacaq:

$$L^4 = L_0^4 T + \frac{B_1 \gamma D_s \cdot \delta^4}{kT} \cdot t, \quad (19)$$

burada  $D_s$  – səthi diffuziya əmsalı;  $\Delta L = L - L_0$  – qatın qalınlığı, hansında atom diametri  $\delta$  həddində səthi diffuziya baş verir;  $\gamma$  – səthi gəzilmə;  $k$  – Bolsman sabiti;  $T$  – mütləq temperatur;  $t$  – zaman;  $B_1$  – sabitlik ədədi, təqribən 30-a bərabərdir;  $L_0$  – bişirməyə qədər  $L$  parametrisinin başlanğıc qiyməti.

(19) tənliyi oksidli və metal ovuntular üçün bir çox eksperimental verilənləri qane edir. Tam səthi örtməyə metal örtüklər üçün koalesensiya əsasən adsorbsiya olunan atomların səthi diffuziya mexanizmi üzrə baş verir.

(19) tənliyini  $t$ -yə görə differensiallaşdıraraq,  $L$ -in kinetik dəyişməsinin differensiallaşdırılmış tənliyini alırıq:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{B_1 \gamma D_s \cdot \delta^4}{4L^3 kT} \quad (20)$$

Beləliklə, ovuntu qatışıqlarının bişirmə prosesinin riyazi izahı üçün ardıcıl temperatur rejimlərində dənələrin sıxlaşma kinetikasının və böyüməsinin qeyri xətti differensial tənliklər sistemi qurulmuşdur. Temperatur rejimlərinin arasında bu tənliklərin həllinin “ötürülməsi” yolu ilə və Runqe-Kuttanın dördüncü hədd üsulunun köməyi ilə alınmış sistem tənliklərini inteqrallaşdıraraq, məsaməliyin və dənəvərliyin zamana görə fasiləsiz əyrilərinin ədədi diskretizləşməsi qurulmuşdur.

Tədqiq edilmiş ovuntular qarışığına dəmir, çuqun və sitallaşmış şüşə (sital) A və B komponentlərindən ibarət sistem kimi baxılmışdır. Komponent A dəmirin sitalla birləşməsidir  $Fe_2SiO_4$  (fayalit), komponent B dəmirin karbonla birləşməsidir.  $FeC$  (çuqun) verilmiş binarsistemi üçün hetero diffuziya əmsalı Darken düsturuna görə hesablanıb. A və B komponentlərdən ibarət binar sistemi üçün heterodiffuziya əmsalı  $D$ , Darkenə görə, (21) nisbətinin köməyi ilə  $D_A$  və  $D_B$  parsional diffuziya əmsalları vasitəsilə ifadə edilir.

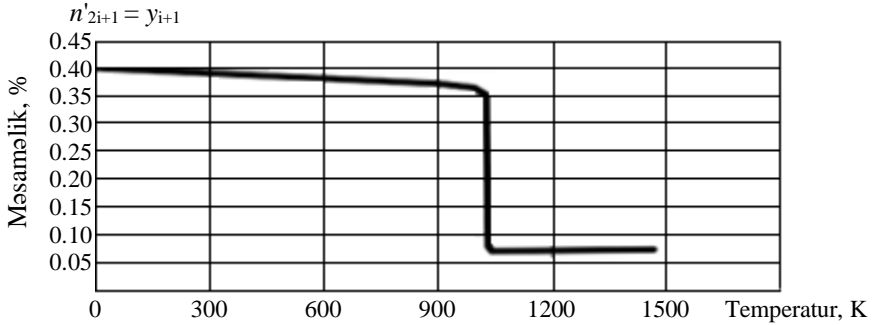
$$\tilde{D} = c_B \cdot D_A + c_A \cdot D_B, \quad (21)$$

burada  $C_A$  və  $C_B$  – A və B komponentlərinin konsentrasiyalarıdır (bizi halda  $C_A = C_B = 0,5$ ).

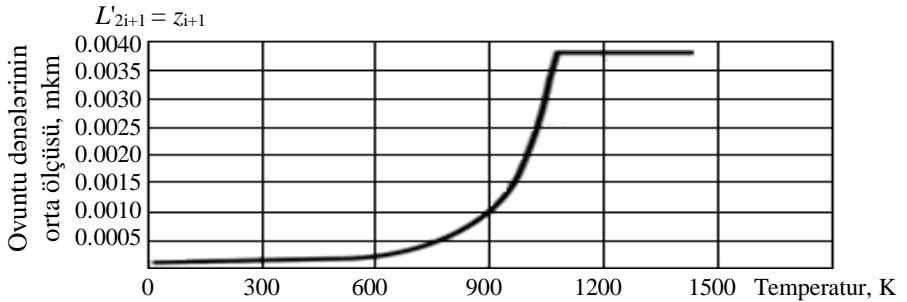
Təzyiq altında (hərtərəfli sıxmada) bişirmənin kinetik reoloji izahında diffuziyalı-özlülü axın mexanizmi istifadə edilib və Makkenzi-Şuatlvorsun modeli qəbul edilib. Bu mexanizmə uyğun olaraq dənənin sərhəddi boyunca termiki sürüşmə və vakansiya boşluqlarının səthə

itələnməsi hesabına məsamələrin həcmi kiçilməsi baş verir.

Maye faza yarananda, hissəciklərin əlaqələrində kapilyar qüvvələrin dəyişməsi ilə yanaşı, isladıcı hissəciyin ərintisinin yaranması ilə, komponentlərin qarşılıqlı təsir səthlərinin sahəsi əhəmiyyətli dərəcədə artır və bu bişirmə prosesinin sürətlənməsinə səbəb olur. Bu zaman ovuntu cisminin bişirmə prosesində ümumi halda məsaməliyinin azalması və dənəvərliyinin artması müşahidə edilir, sonra isə oturmada məsaməliyin və dənəvərliyin stabilləşməsi baş verir (şəkil 13 və 14).



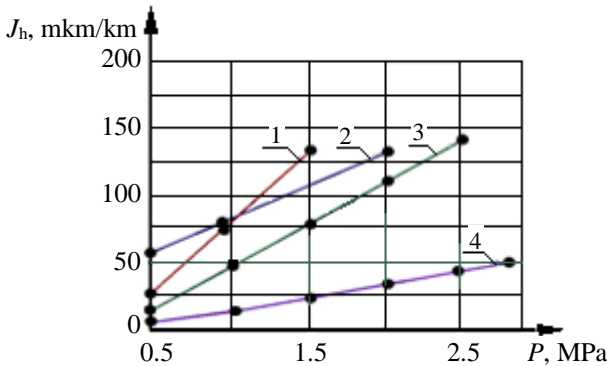
**Şəkil 13. Məsaməliyin temperaturdan asılılığı**



**Şəkil 14. Ovuntu hissəciyinin orta ölçüsünün temperaturdan asılılığı**

**Beşinci fəsil**də dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiyasının struktur və xassələrinin eksperimental tədqiqatı aparılıb. Ovuntu kompozisiya materiallarında bərk yağlayıcıların (qrafit, mis içqarışıqları)

və içqarışıqların (çuqun, şüşə) qarşılıqlı təsiri tədqiq edilmişdir. Dəmir-çuqun-şüşə kompozisiyasında çuqun və şüşə ovuntuları şixtəyə əlavə emalsız daxil edilmişdir. Bu çuqunun dəmir ovuntusu ilə bişmə mümkünlüyünü aşkarlamaq məqsədi ilə edilib, belə ki, prespəstahların bişirilməsi 1100-1150<sup>0</sup>C temperaturda aparılıb. Dəmirçuqunlu şixtəyə şüşə ovuntusu 6 küt.% qədər daxil edilib. Bu materialın yeyilməyə davamlığı ЖГ<sub>p3</sub> – dəmirqrafitlə müqayisədə bir az aşağı olmuşdur (şəkil 15, əyri 1 və 3), bu hal bişimədən sonra dəmir-çuqun matrisanın aşağı möhkəmlikdə olmasından irəli gəlir. Bu zaman qrafit tərkibli analoji materialla müqayisədə diqqəti cəlb edəsi üstünlüklər müşahidə edilməyib (şəkil 15, əyri 1 və 2). Bərk yağlayıcı maddələr, bir birini tamamlayaraq, yağsız sürtünmədə metal-şüşə materialın yeyilmə intensivliyini 6-8 dəfə aşağı salırlar (şəkil 15, əyri 4) Beləliklə, materialda müxtəlif təbiətli bərk yağlayıcıların miqdarının iki dəfə artırılması yeyilməyə davamlığın 6 dəfədən çox artmasına səbəb olur.



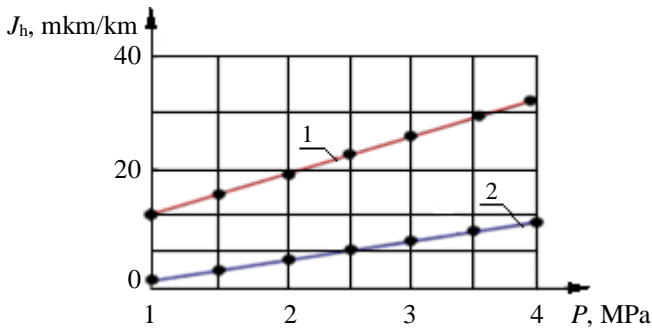
**Şəkil 15. Müxtəlif tərkibdə (kütə,% nisbətində) metalşüşə materialının yeyilmə intensivliyinin mütləq yüklənmədən asılıığı:**  
 1 – 30% çuqun, 6% şüşə və 64% dəmir; 2 – 2% molibden disulfidi, 6% şüşə, 30% çuqun və 62% dəmir; 3 – 3% qrafit və 97% dəmir; 4 – 3% qrafit, 2% molibden disulfidi, 6% şüşə, 30% çuqun və 59% dəmir;  $V_{ck} = 0,84$  m/san – yağsız sürtünmə

Əlavələr kimi tərəfimizdən metallaşdırılmış (misləşdirilmiş) çuqun və şüşə ovuntularından istifadə etmək təklif edilib. Bu, müxtəlif xassələrə təsir edən, bir ovuntuda 2-3 elementi birləşdirməyə imkan verir. Metallaşdırmanın mahiyyəti hesablanmış miqdarda metalın



(mis, nikel, qalay və s.) çuqun hissəciklərinin və qeyri-metal ovuntuların (qrafit, sulfidlər, oksidlər, nitridlər, karbidlər) səthinə kimyəvi reduksiya etdirməkdən ibarətdir [160]<sup>18</sup>.

Ovuntu antifriksion materialların matrisasına əlavə kimi metallaşdırılmış ovuntulardan istifadə etdikdə, iki bərk yağlayıcıların analoji sinerqizmi kimi səmərə alınmışdır. Mislənmiş çuqun və şüşə ovuntuları şəklində bərk içqarışıqların daxil edilməsi mexaniki ovuntu qarışığından ibarət analoji tərkibli materiallarla müqayisədə dəmir-çuqun-şüşədə yeyilmə intensivliyini üç dəfədən çox azaltmağa imkan vermişdir (şəkil 16). Verilmiş halda yağlayıcı təsirin artmasını metallaşmış hissəciklərin matrisada daha möhkəm birləşmələri ilə izah etmək olar, bu onların kipləşməsinə və sürtünmə zonasından çıxmasına mane olur.

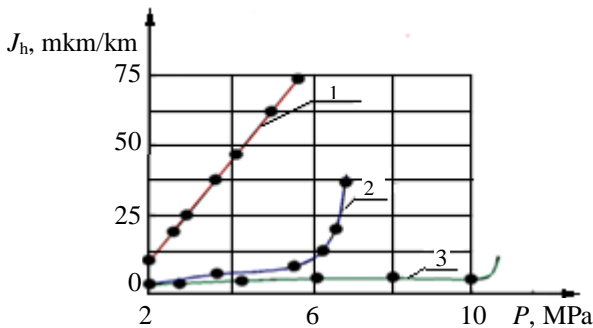


**Şəkil 16. Ovuntu materiallarının yeyilmə intensivliyinin sürtünmə yüklənməsindən asılılığı:**

1 – 6 küt.% şüşə və 30 küt.% çuqun tərkibli tunc (hər iki ovuntu metallaşdırılmayıb); 2 – 6 küt.% şüşə və 30 küt.% çuqun tərkibli tunc (hər iki ovuntu misləşdirilib);  $V_{ck}=1\text{m/c}$  – yağda hopdurulmuş nümunələrin yağsız sürtünməsi

Təbiətə müxtəlif bərk içqarışıqlar materialın matrisasında eyni miqdarda olduqda kompozisiya materialının yeyilmə intensivliyinə qeyri-adekvat təsir göstərir (şəkil 17).

<sup>18</sup> Цеменко В.Н. Прессование структурнонеоднородных систем с различным агрегатным состоянием фаз в технологических процессах утилизации тонкодисперсных порошковых отходов черной металлургии. // Вестник УлГТУ. - Ульяновск: УлГТУ, - 2004. №2, -с. 39-41.



**Şəkil 17. Tərkibində misləşdirilmiş ovuntular olan ovuntu tunclarının yeyilmə intensivliyinin yeyilmə yükləməsindən asılılığı:**

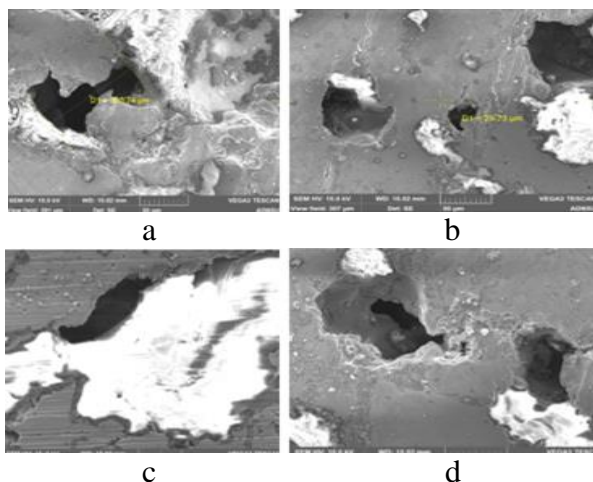
1 – 8 küt.% aşağı temperaturlu şüşə; 2 – 8 küt.% çətinəriyən oksid;  
3 – hər biri 6 küt.% şüşə və oksid;  $V_{ck}=1$  m/san – yağla hopdurulmuş nümunələrdə yağsız sürtünmə

Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, bərk içqarışıqları 10 küt.%-dən çox daxil etmək kompozisiya materialının antifriksion xassələrinin əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salması səbəbindən məqsədyönlü deyil.

Yeyilməyə davamlığı və yükləmə qabiliyyətini kəskin artırmaq tuncqrafit matrisaya bərabər miqdarda (6 küt.%) misləndirilmiş aşağı temperaturlu şüşə və çətinəriyən oksidlərin ovuntularını daxil etməklə mümkün olmuşdur. Belə materialın yağsız sürtünmədə yeyilmə intensivliyi 7-10 dəfə, sürtünmə əmsalı 1,5 dəfə, yükləmə qabiliyyəti isə 12 MPa-la qədər artmışdır (şəkil 17, əyri 3).

Müəyyən edilib ki, eyni zamanda bərk yağlayıcıların və bərk içqarışıqların eyni zamanda daxil edilməsi və bu əlavələrin ilkin ovuntularının kimyəvi metallaşdırılması dəmir-çuqun-şüşə kompozisiya materiallarının struktur əmələ gətirməsinin gedişini tənzimləməyə və tribotexniki xarakteristikaları formalaşdırmağa imkan verir.

Dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiya materiallarının antifriksion xassələrinin artırılması istiqamətində çuqun və şüşə ovuntularının kimyəvi misləndirilməsi əhəmiyyətli müsbət effekt verir. Lakin bişirmədən sonra bu kompozitin strukturunda 10÷15% həddində məsaməliyin olması (şəkil 18) onların yük götürməsinə 20 MPa səviyyəsinə



**Şəkil 18. Dəmir-çuqun-şüşə KM-nın əsas (a, b) və mərkəzi (c, d) zonalarında məsamələrin paylanmasının SEM-təsviri**

qədər qaldırmağa imkan vermir, belə ki, bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə kompoziti sürtünməyə yüklənmənin 5÷6 MPa qiymətlərində iş qabiliyyətli olur.

Strukturada ferrit və perlit fazalardan ibarət plastik matrisanın, mislənmiş çuqun şəklində bərk içqarışıqların matrisada həll olmayan və şüşə şəklində mislənmiş içqarışıqların olması yüksək sıxlıq təmin edildikdə quru sürtünmə şəraitində bu kompozisiyalarda yüksək işgörmə qabiliyyəti təmin edilmişdir (şəkil 19).

Müəyyən edilib ki, dəmir-çuqun-şüşə bişirilmiş kompozisiyanın quru sürtünmə şəraitində işləyəndə yük qaldırmanı artırmaq üçün onların sıxlığının daha da artırılması zəruridir.

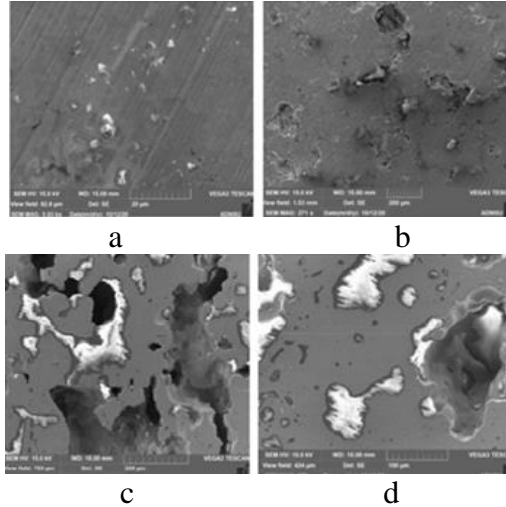
Dəmir-çuqun-şüşədən məsaməli pəstahların sıxılmaya tətbiqi onların məsaməliyini 30% azaltmağa imkan verib, yəni pəstahların ilkin məsaməliyi 15% olduğu halda, onların son məsaməliyi 4÷5% olmuşdur.

Bu materialın matrisasının möhkəmlənməsinə və matrisada misləndirilmiş çuqun və şüşə bərk hissəciklərinin bərabər paylanmasına səbəb olur. Belə halda materialın struktur təşkilədiciləri əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşır və buna rəğmən onun tribotexniki xassələri də yüksəlir. Bu zaman yalnız matrisanın möhkəmlənməsi deyil, həm də

çuqun və şüşə bərk içqarışıqların ona bərkiməsi baş verir. Bundan başqa, materialın daha da sıxlaşdırılması qrafit içqarışığının və sərbəst mis içqarışıqlarının bərabər paylanmasını yaxşılaşdırır, bunlar bərk yağlayıcılar kimi sürtünmədə mühüm rol oynayırlar.

Belə ki, strukturada sərbəst mis içqarışıqlarının olması sürtünmədə plastiki tərkib rolunu yerinə yetirir, plastiki olaraq təmasda olan səthlər istiqamətində “axır” bununlada sürüşməni yüngülləşdirir. Sərbəst qrafit içqarışıqları, bərk yağlayıcı kimi təmasda olan səthlərin makroyapışmalarının qarşısını alır, sürtünmə əmsalını aşağı salır.

Sürtünmə yüklənməsinin 3 MPa-dan 4 MPa-la qədər artması ilə quru sürüşmə şəraitlərində materialın sürtünmə əmsalı praktiki olaraq az dəyişir və 4 MPa yükləmə sürtünmə üçün əhəmiyyətli qiymət hesab edilir. Bundan sonra sürtünmə yüklənməsinin 10 MPa-la kimi artması ilə kompozitin sürtünmə əmsalı tədricən artır. Bu zaman onun kəskin aşağı düşməsi, hansı ki, materialın dağılması ilə nəticələnən yeyilməyə səbəb ola bilər, müşahidə edilmir.



**Şəkil 19. Dəmir-çuqun-şüşə KM-da matrisanın strukturunda mislənmiş çuqun bərk içqarışıqlarının (a, b) və mislənmiş şüşə içqarışıqlarının (c, d) paylanmasının SEM-təsviri**

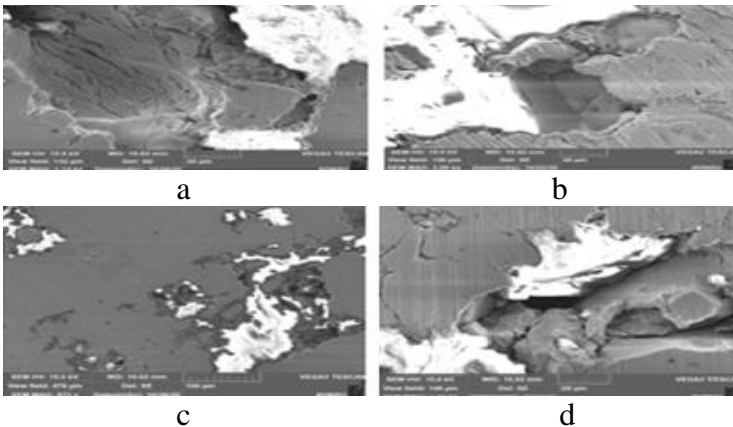
Quru sürtünmə rejimində 2-10 MPa yüklənmədə materialın sür-

tünmə əmsalının bu qədər aşağı olması, bərk və plastiklikli içqarışıqların (çuqun, şüşə və misin sərbəst içqarışığı), bərk yağlayıcının (qrafit içqarışığı) müsbət qarşılıqlı təsiri və möhkəm matrisanın olması ilə əlaqəlidir.

İlkin ovuntular çuqun və şüşənin kimyəvi metallaşdırılması, həmçinin bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşənin ekstruziya şəraitində sıxlaşdırılması sıxlığı artırmağa imkan verir və bununlada materialın anti-friksion xassələri artır. Məsələn, belə emalı keçmiş dəmir-çuqun-şüşə 6-8 MPa yükləmədə, quru sürtünmə rejimində, 1m/san sürüşmə sürətində yüksək yeyilməyə davamlıq göstərir. Beləliklə, işlənmiş dəmir-çuqun-şüşə növlü materialı ekstremal şərait istismarında sürtünmə qovşaqlarında işlətmək üçün məsləhət görmək olar. Belə sürtünmə qovşaqları müxtəlif neftqazçıxarma avadanlıqlarında olur, məsələn mancanaq dəzgahlarında, dərinlik nasoslarında hidroturbinlərdə, dizellərdə və s.

Kompakt çoxfazlı kompozisiyalarda möhkəmliyin konsentrasiyadan asılılığı müəyyən mənada qeyri-monoton mürəkkəb xarakter daşıyır ki, bu da əmələ gələn fazaların morfologiyasının məxsusi xassələrindən irəli gəlir. Bu baxımdan elastiki-plastiki materialların möhkəmliyi və dağılma qanunauyğunluğu vacib əhəmiyyət kəsb edir, dəmir-çuqun-şüşə belə material hesab edilir.

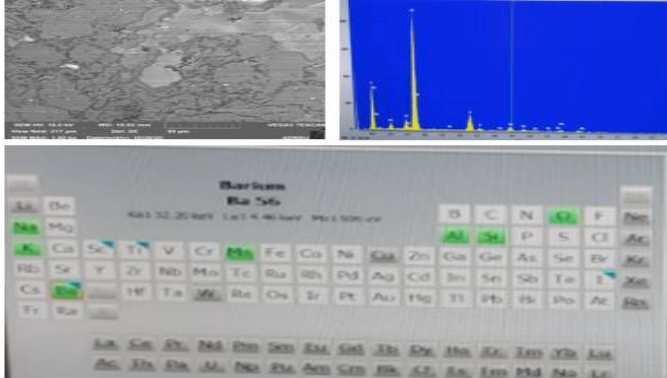
Sınıqların stereoloji analizi göstərir ki, çatların trayektoriyası əsasən çuqun-şüşənin kristallitlərarası sərhəddi boyunca və əlaqələndirici fazanın (dəmir) sahələrindən keçir (şəkil 20).



## Şəkil 20. Çuqun-şüşə kristallararası sərhədlərində (a, b) və əlaqələndirici fazanın (dəmir) (c, d) sahələrində çatların trayektoriyasının SEM təsviri

Məlum olduğu kimi, bişirilmiş materiallar, ərimə mərhələsinə çatana qədər hazırlanır. Buna görə, töküklərlə müqayisədə onlarda aşqarların miqdarı çox olur (bu isə həssas struktur xarakteristikalarına təsir göstərir, məsələn, çətin əriyən metalların kövrək haldan plastik hala keçid temperaturuna). İcqarışıqların miqdarının artımı həmçinin sərhədyanı zonaların tərkib xüsusiyyətində də təsir göstərir. Bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşədə mikrorentgenspektral analiz üsulu ilə sərhədyanı zonalarda silisiumun, oksigenin, misin, manqanın seqreqasiyası aşkarlanmışdır [221]<sup>19</sup> (şəkil 21).

Belə müqayisəyə tezəriyən seqreqasiyaların iştirakı yüksək sürətli rekristallaşmaya və qeyristexiometriyalı daxilolma fazaları üçün yüksəktemperaturlu sürünməkləyə şərait yaradır.



## Şəkil 21. Bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə kompozisiya materialında sərhədyanı zonalarda Si, Mn, Cu və O<sub>2</sub> paylanmasının SEM təsviri

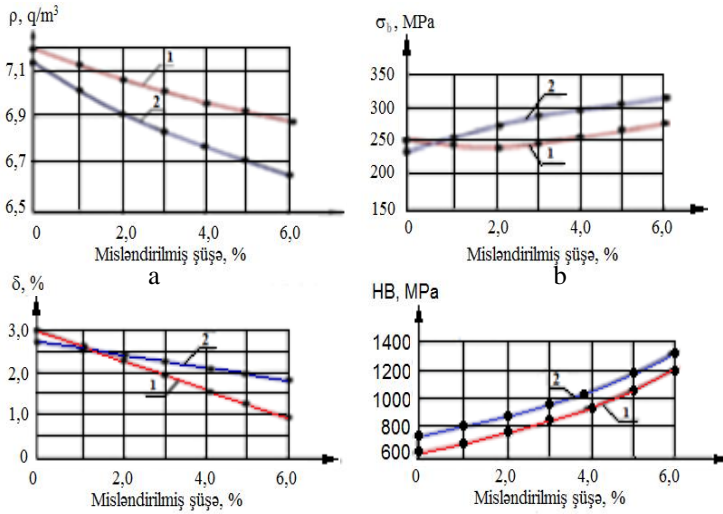
<sup>19</sup> Jabbarov T.G., Aslanov J.N, Shahmarova R.S. Saturation of glass particles with meal during sintering of a composite material of the iron-glass system.

Olduqca yüksək plastiklikli deformasiyada da mikrodənəli sərhədlərin rolu böyükdür, hansı ki, bir çox xırdadənəli və ya qızmar preslənmiş materiallar üçün səciyyəvidir. Bizim baxdığımız hallarda, dəmir-çuqun-şüşə bişirilmiş kompozisiya materiallarının xassələri ilə məsaməlik və dənələrin ölçüsü arasındakı əlaqə göstərilir, hansı ki, bu, problemin bütün çox tərəfli aspektlərini məhdudlaşdırmır.

Bundan başqa sərhədlərin və məsamələrin çatların yayılması istiqamətində maneə kimi rolunu, onların özlülü dağılmaya təsirini və bişirmə zamanı bir-birində həll olan ovuntuların xassələrinin formalaşmasında qanunauyğunluğunu qeyd etmək olar. Bişirilmiş cisimlərin xassələrini miqdarca dəyərləndirilməsi çox çətindir, nəzəri təsəvvürlərin sonrakı inkişafını və təcrübi verilənlərin toplanmasını tələb edir. Belə işlərin əhəmiyyətliyi kifayət qədər aydındır, xüsusilə ovuntu metallurgiyasında texnoloji proseslərin idarə edilməsində avtomatlaşdırılmış sistemlərdən istifadə etmək daha zəruridir.

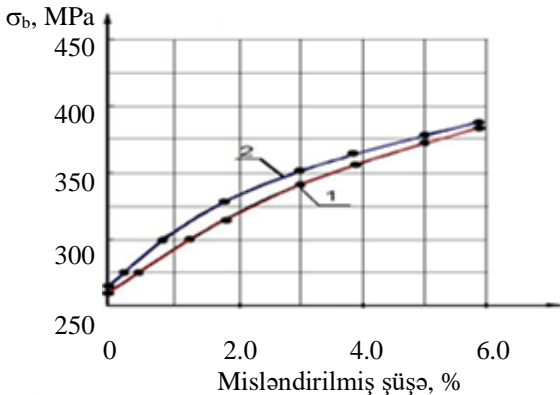
**Altıncı fəsil**də dəmir əsaslı şixtəyə daxil etməmişdən öncə çuqun və şüşə ovuntularının misləşdirilməsi təklif olunub. Göstərilib ki, şixtədə bu ovuntuların misləşdirilmiş vəziyyətdə istifadəsi ilə dəmir əsaslı şixtənin preslənməsində və pəstahların bişirilməsində yüksək səmərəyə nail olunur, nəticədə dəmir-çuqun-şüşə kompozisiyasının mexaniki xassələri əhəmiyyətli səviyyədə artır (şəkil 22). Bu kompozisiyalarda əhəmiyyətli dərəcədə daha yüksək mexaniki xassələrin alınmasına səbəb misləşdirilmiş ovuntuların soyuq presləmədə plastiki axını və sürüşməsi və bişirmədə şüşənin və misin maye faza kimi iştirak etməsidir.

Reduksiya olunmuş dəmir ovuntusundan və mislənmiş çuqun və şüşə ovuntularından istifadə bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə kompozisiyalarının möhkəmlik xassələrini əhəmiyyətli artırmağa imkan verir. Reduksiya olunmuş dəmir ovuntusu əsasında və mislənmiş çuqun və şüşə ovuntularının iştirakı ilə alınmış kompozisiyada 330 MPa-la yaxın möhkəmlik həddinə çatmaq olur, bu isə analoji şəraitlərdə hazırlanmış, lakin mislənməmiş çuqun və şüşə ovuntularının iştirakı ilə alınan kompozisiyanın möhkəmliyindən 120 MPa yüksək olur. Bu fərq mislənmiş çuqun və şüşə ovuntularının iştirakına əsaslanmışdır, termiki emaldan (tablandırma+tabəksiltmə) sonra da saxlanılmışdır (şəkil 23).



**Şəkil 22. Bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə kompozisiyanın sıxlığının (a), möhkəmlik həddinin (b), nisbi uzanmasının (c) və bərkliyinin (d) mislənmiş şüşə ovuntusunun miqdarından asılılığı:**

- 1 – püskürdülmiş dəmir ovuntusu;
- 2 – reduksiya edilmiş dəmir ovuntusu



**Şəkil 23. Dəmir-çuqun-şüşə kompozitinin tablandırmadan və aşağı temperaturlu tabəksiltmədən sonra möhkəmliyinin mislənmiş şüşənin miqdarından asılılığı:**

- 1, 2 – tablandırma, 900<sup>0</sup>C, su; 1 – püskürdülmiş ovuntu;
- 2 – reduksiya olunmuş ovuntu. Bütün hallarda mislənmiş çuqun ovuntusunun miqdarı 30 küt.% götürülmüşdür



Dəmir-çuqun-şüşə kompozitlərində, dəmir və mislənmiş çuqun və şüşə ovuntularından alınmış, kimyəvi və struktur bircinsliyinə daha aşağı temperaturlarda nail olmaq olur, nəin ki, dəmir-çuqun-şüşə, hansında ki, çuqun və şüşə ovuntularını misləndirmədən daxil etmişdik, bu hal isə bu kompozitlərin bişirmə temperaturunun aşağı düşməsinə şərait yaradır. Bütün hallarda mislənmiş çuqun ovuntusunun miqdarı 41.5 küt.%-dir.

Biz materialın mexaniki xassələri və texnoloji parametrləri arasındakı əlaqəni izah edən “Əgər-Onda” qeyri-səlis məntiq qaydasını tətbiq etmək üçün təcrübi (eksperimental) verilənlərin qeyri-səlis klasterləşdirilməsindən istifadə etmişik [219]<sup>20</sup> (məsələn, 13-14-cü səhifələrdə baxılmış, materialın mexaniki xassələri və tərkibi arasındakı əlaqəni izah edən qeyri-səlis qaydanın qurulması ilə eynidir).

Nümunə kimi, “dəmir-çuqun-şüşə” ovuntu kompozisiya materialına baxılmışdır. Bu qeyri-səlis məntiq qaydasını materialların analizi və sintezi üçün istifadə etmək olar [174]<sup>21</sup>.

Modellərin giriş dəyişənləri kimi texnoloji parametrləri çıxış parametrləri kimi isə “dəmir-çuqun-şüşə” ovuntu kompozisiya materialının mexaniki xassələri götürülmüşdür.

Qaydaların tərtibində istifadə edilmiş, qeyri-səlis parçaların qurulması standart şəkil 1-də göstərilmişdir. Qaydaların qrafiki təsviri şəkil 24-də verilmişdir.

Alınmış qaydalar materialın verilmiş xarakteristikalarına görə texnoloji parametrləri təyin etmək üçün istifadə edilmişdir.

Məsələn, tutaq ki, aşağıdakı mexaniki xassələrə uyğun material almaq lazımdır.

$$Z_1 = 382; Z_2 = 358; Z_3 = 80; Z_4 = 38$$

burada  $Z_1$  – dartmada möhkəmlik həddi ( $\sigma_b$ , MPa);  $Z_2$  – əyilmədə möhkəmlik həddi ( $\sigma_s$ , MPa);  $Z_3$  – bərklik (HB, MPa);  $Z_4$  – zərbə özlüyü (KC, kCoul/m<sup>2</sup>)

---

<sup>20</sup> Jabbarov T.G., Gurbanov N.A Synthesis of Optimal Technological Parameters of "iron-cast-glass" Grinding Composite Materials Using Fuzzy Logic and Big Data Concepts.

<sup>21</sup> Babanlı M.B. Fuzzy Logic-Based Material Selection and Synthesis.

Mamdaninin qeyri-səlis loqıq nəticəsinin alqoritminin (qeyd edilən alqoritm səh.15-19-da izah edilib) köməyi ilə alınmış qaydalar əsasında edilmiş hesablamə göstərib ki, verilmiş mexaniki xassələrə aşağıdakı texnoloji parametrlərdə nail olunmuşdur:

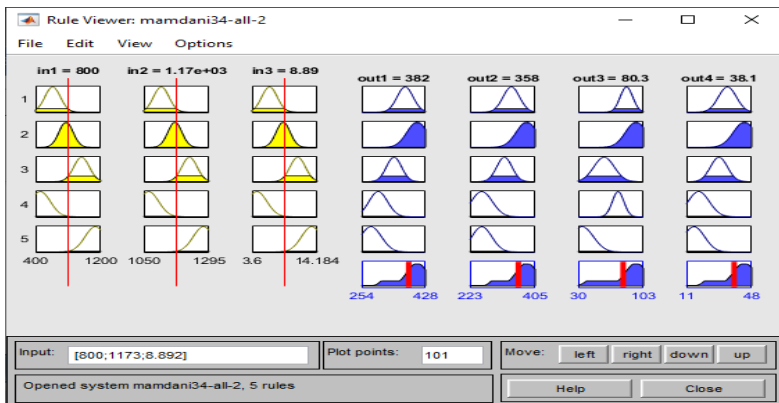
$$y_1 = 800; y_2 = 1170; y_3 = 8,9,$$

burada  $y_1$  – presləmə təzyiği (P, MPa);  $y_2$  – bişirmə temperaturu (t, °C);  $y_3$  – bişirmə müddəti ( $\tau = 1 \cdot 10^3$  san).

Mislənmiş şəkildə çuqun və şüşə ovuntularının əlavə edilməsi ən başlıcası ovuntu şixtəsinin plastikliyini yaxşılaşdırmış, kompozitin presləmə və bişirmə porselərini aktivləşdirmiş, presləmə təzyiqinin bu xassələrə təsirinin azalması müşahidə edilən kompozitlərdə özlülü-yün artmasına səbəb olmuşdur.

Dəmir-çuqun-şüşə kompozitlərinin adi presləmə və bişirmə ilə hazırlamaq üçün reduksiya edilmiş dəmir ovuntusu ilə yanaşı mislənmış çuqun və şüşə ovuntularından istifadə, əlavə legirlənməni və ya başqa istehsalat əməliyyatlarını tətbiq etmədən, onların möhkəmliyini artırmağın yeni üsuludur.

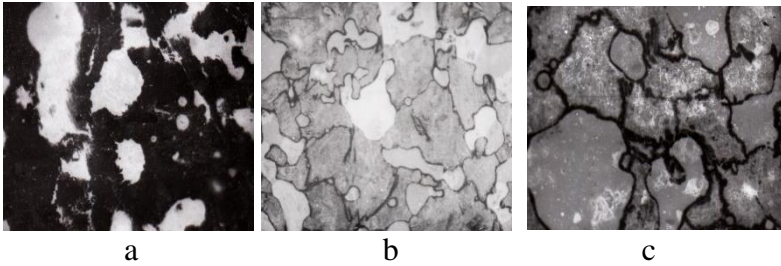
Müəyyən edilmişdir ki, daha yüksək möhkəmlik və struktur xarakteristikalarına reduksiya edilmiş dəmir ovuntularından, nəinki, püs-kürdülmüş dəmir ovuntularından, istifadə etdikdə nail olunur. Bu reduksiya olunmuş dəmir ovuntusu hissəciklərinin daha yüksək həddə süngərvari olması ilə izah edilir.



Şəkil 24. Qeyri-səlis qaydaların qrafiki izahı

Bu zaman legirleyici elementlərin diffuziyası, başlıca olaraq zərrəciklərin sərhəddi boyu və çox dağılmayan qəfəslərin müstəvilərində baş verir, püskürdölmüş ovuntuların tədqiqi halında isə kompozitin legirlənməsi əsasən həcmi diffuziya ilə həyata keçirilir.

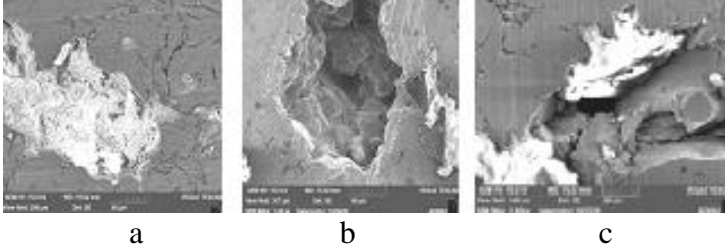
Tərkibində misləndirilmiş çuqun və şüşə ovuntuları olan dəmir-çuqun-şüşə briketlərinin bişirmə prosesinin xüsusiyyətləri tədqiq edilib. Dilatometrik ölçmələr yolu ilə bişirmənin başlanğıc mərhələsinin (yalnız kapilyar gərginliklərin təsiri altında) kinetikasının öyrənilməsinə cəhd edilib. Müəyyən edilib ki, başlanğıc mərhələdə “fəal” oturma baş verir, yəni bu intensiv bişirməyə uyğun gəlir, sonrakı qızdırılmada isə oturma sürəti əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşür. Dilatometrik ölçmələrlə yanaşı həmçinin optik və elektron mikroskopiyadan istifadə etməklə tabəksildilmiş nümunələrin strukturlarının metalloqrafik tədqiqatı aparılıb (şəkil 25,26,27).



**Şəkil 25. Dəmir-çuqun-şüşə kompozisiya materialının mikrostrukturu (20 küt.% mislənməmiş çuqun, 4çək.% mislənməmiş şüşə və qalanı dəmir x500):**

a –  $P=400$  MPa,  $t_{biş} = 1150^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{biş} = 1$  s; b –  $P=700$  MPa,  $t_{biş}=1150^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{biş} = 1$  s; c –  $P=1000$ MPa,  $t_{biş}=1150^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{biş} = 1$  s

Müzakirə etdiyimiz prosesin vacib xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki,eksperimentlə qeydə alınan oturma əhəmiyyətli dərəcədə ovuntu zərrəciyinin ölçüsündən elə asılı olur ki, zərrəciyinin ölçüsü 50 mkm olan mislənməmiş çuqun ovuntusundan ibarət briket 0,3 dəq/san sürətlə  $500^{\circ}\text{C}$ -yə qədər qızdırıldıqda özünün məsaməliyini 8% -ə qədər aşağı salır (35%-dən 27%-ə, şəkil 25), bununla yanaşı eyni ilkin məsaməlikli briketdə ovuntu zərrəciyinin ölçüsü  $r = 160$  mkm olduqda analoji şəraitlərdə oturma ümumiyyətlə müşahidə edilmir (şəkil 28).

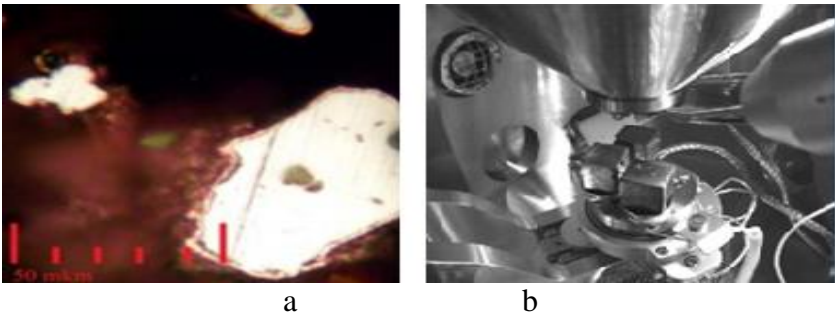


**Şəkil 26. Dəmir-çuqun-şüşə kompozisiya materialının SEM təsviri (20 küt.% mislənmiş çuqun, 4 küt.% mislənmiş şüşə və qalanı dəmir ovuntusu):**

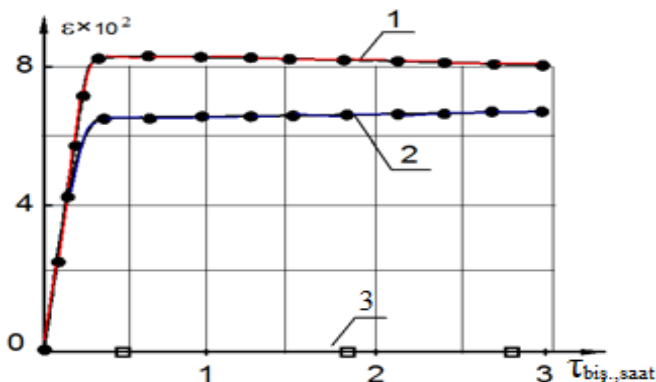
a –  $P = 400 \text{ MPa}$ ; b –  $P = 700 \text{ MPa}$ ; c –  $P = 1000 \text{ MPa}$ ,  
Bütün hallarda  $t_{\text{biş}} = 1150^{\circ}\text{C}$ ,  $\Gamma_{\text{biş}} = 1 \text{ s}$

Qeyd etmək lazımdır ki, bişirmənin intensivliyinə ovuntuların ölçüləri əhə-miyyətli dərəcədə təsir göstərir, onlar nə qədər kiçik olarsa, bişirmə bir o qədər sürətlə gedir.

Beləliklə, şixtədə plastiki və elastiki tərkib hissələrindən istifadə etməklə çox komponentli ovuntu kompozisiyalarının yeni istehsal texnologiyası işlənmişdir. Bununla yanaşı işlənmiş kompozisiyaların səmərəli formalaşdırma və legirləndirmə üsullarının tətbiqi ilə belə fazaların sıxlaşmasının və möhkəmlənməsinin texnoloji həlləri verilmişdir.



**Şəkil 27. Dəmir-çuqun-şüşə kompozisiya materialının (20 küt.% mislənmiş çuqun, 4 küt.% mislənmiş şüşə və qalanı dəmir ovuntusu) mikroşlifinin (a) SEM təsviri və mikroşliflərin SEM-nun işçi masasında yerləşdirilməsi (b)**



**Şəkil 28. Dəmir-çuqun-şüşə briketlərinin nisbi oturmalarının mislənmiş çuqun ovuntusunun ilkin ölçüsündən aşığı:**

1 –  $r = 50$  mkm; 2 –  $r = 100$  mkm; 3 –  $r = 160$  mkm

Azərbaycan Respublikasının müxtəlif sənaye sahələrində tədqiqat nəticələrinin tətbiq olunma sahələrinin səmərəliyi təyin edilib. Göstərilib ki, dəmir-çuqun-şüşə növlü işlənmiş materialları ölkənin neft mədən avadanlıqlarının sürtünmə qovşaqlarında istifadə etmək olar.

Ancaq belə ovuntu məmulatlarının tətbiq sahələrini daha da genişləndirmək üçün onları sadə konstruksiyalardan hazırlamaq daha səmərəli sayılır, sonra isə mürəkkəb formanı almaq üçün bu konstruksiyaları lehimlə, yapışqanla və qaynaqla birləşdirmək olar. Ovuntu konstruksiyalarının daha etibarlı bişləmə üsulu qaynaq sayılır. Neft-mədən avadanlıqlarının detalları, adətən, mürəkkəb konfigurasiyaya malik olurlar. Onları ovuntu variantına keçirəndə presləmədə sıxlaşdırma texnologiyasını tətbiq etmək, sonra isə sadə bişirilmiş detalları müxtəlif qaynaq üsulları ilə, məsələn sobada qaynaq üsulu ilə birləşdirmək lazımdır.

## ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

1. Elastik-plastik mühitdən ibarət olan, məsaməli materialların forma dəyişməsinin işlənmiş riyazi modelləri əsasında müəyyən edilmişdir ki, briketin olduqca böyük radial sıxılmalarında, onun

məsaməliyi demək olar ki, dəyişmir. Ona görə dəmir-çuqun-şüşədən ibarət bişirilmiş məsaməli cismin sıxlaşma prosesinin iki mərhələyə: forma və həcmə dəyişməsi və formanın müəyyən qədər dəyişmə mərhələlərinə bölünməsi təklif edilmişdir. Birinci mərhələdə həcmi və radial deformasiya nisbətlərinin formalaşması böyük əhəmiyyət kəsb edir.

2. Eksperimental verilənlərə C-orta qeyri-səlis klasterləşdirmə üsulunun tətbiqi ilə qeyri-səlis “Əgər-Onda” qaydası şəklində “dəmir-çuqun-şüşə” ovuntu kompozisiya materialının tərkibi və onun mexaniki xassələri arasındakı asılığın linqvistik modelləri qurulmuş və onların əsasında verilmiş xarakteristikalara malik material sintez edilərək onun tərkibi müəyyən edilmişdir. Analoji olaraq materialın texnoloji parametrləri və mexaniki xassələri arasındakı əlaqəni izah edən edən qeyri-səlis “Əgər-Onda” qaydaları alınmışdır. Modellərdən irəli gələrək verilmiş xarakteristikaları təmin edən texnoloji parametrlərin qiymətləri təyin edilmişdir.
3. Sərt divarları olan alətdən istifadə etməklə məhdud passiv deformasiya şəraitində məsaməli "dəmir-çuqun-şüşə"nin sıxlığının qiymətləndirilməsinin enerji baxımından ən sərfəli proses olduğu müəyyənləşdirilmişdir. Bişirilmiş məsaməli materialın sərbəst çökməsində daha çox enerji sərfiyyatı tələb edilir. Dəmir-çuqun-şüşədən hazırlanmış məsaməli oymaqları yalnız sərt çərçivədə radial sıxılma halında onun sıxlığının radius boyunca bərabər paylandığı müəyyən edilmişdir.
4. Dəmir-çuqun-şüşədən ibarət məsaməli cisimlərin təcrübi qiymətləndirilməsi üçün mikrostruktur analiz və bərkliyə sınaq üsulları tətbiq edilmişdir. Sonlu elementlər üsulunun və mikrostruktur analizin köməyi ilə materialın məsaməliyinin paylanması, dənələrin deformasiya və onların qarşılıqlı əlaqəsi haqqında təsəvvürlər genişləndirilmişdir. Bərkliyin qiyməti materialların gərginlik-deformasiya halında olan komponentlərinin və mexaniki xassələrinin təyini üçün vacibdir hesab edilmişdir.
5. Dəmir-çuqun-şüşədən ovuntu şixtələrinin məsaməli pəstahların sıxlaşdırılması proseslərinin vahid riyazi modeli işlənərək plastiki axın zamanı ümumi tenzor nisbətləri ilə yanaşı skalyar

nisbətlərində də mövcudluğu və bunların gərginlik tenzorlarının komponentlərini bir-birilə əlaqələndirdiyi müəyyən edilmişdir. Sıxlaşdırılan məsaməli cismin skalyar xassələri məsaməli cismin və ovuntuların ilkin vəziyyətindən və məsaməlikdən yaranan toxunan gərginliklərin intensivliyini və hidrostatik təzyiqini xarakterizə edən tənliklərlə izah olunur. Bu zaman hidrostatik təzyiqin sürüşmə deformasiyasına, toxunan gərginliklərin isə cismin həcmnin dəyişməsinə təsir etdiyi göstərilmişdir.

6. Sonlu elementlər üsulu ilə silindrik məsaməli pəstahın konusvari matrisadan keçərək baş tutmayan presləmə prosesinin həlli məsələsi yerinə yetirilmiş və sonlu elementlər üsulunun tətbiqilə sərt silindrik matrisalarda dəmir-çuqun-şüşədən məsaməli pəstahların iki tərəfli sıxlaşdırılmasında gərginlik-deformasiya halı tədqiq edilmişdir. Kompozitin komponentlərinin xarakterinin qiymətləndirilməsi və dəmir-çuqun-şüşə məsaməli pəstahların plastiki deformasiyasında kinematik parametrləri göstərmişdir ki, materialın sıxlaşma təzyiqinin son qiymətlərinə baxmayaraq, materialın axıcılıq həddinə bərabər məsaməsiz materialın oturmada alınması mümkün deyildir.
7. Dəmir-çuqun-şüşə tipli çoxkomponentli sistemin bişirmə prosesinin riyazi modelləşdirilməsi işlənmiş, ovuntu materiallarının bərk və maye fazaların iştirakı ilə bişirmə proseslərinin kinetikasının izahının verilməsinə cəhd edilmişdir. Şüşə maye fazanın iştirakı ilə dəmirin öz-özünə və karbonun diffuziyasının analitik izahı verilmiş, müəyyən edilmişdir ki, diffuziya cütlüyü iki yarısonsuz nümunələr A və B-dən ibarət olub öz aralarında kəsilməz sərhədlə birləşiblər, belə ki, ondan keçərək ilkin diffuziya konsentrasiyası  $C_2$  olan bir nümunədən, ilkin diffuziya konsentrasiyası  $C_1$  olan digər nümunəyə diffuziya prosesi baş vermişdir ( $C_1 < C_2$ ).
8. Dəmir-çuqun-şüşə növlü ovuntu materiallarında kompozitin bişirilmə prosesində şüşə ovuntusundan istifadənin üstünlüyü göstərilərək müəyyən edilmişdir ki, çox komponentli dəmir-çuqun-şüşə sistemin bişirmə prosesini daha da intensivləşdirmək üçün sistemin komponentlərini yaxşı islanma bilən maddələrlə, məsələn, çuqun və şüşə ovuntularının metallaşdırılmasının aparılmasıya örtmək daha

məqsəd yönlü və zəruridir. Bu baxımdan çuqun və şüşə ovuntularının kimyəvi misləndirmə prosesini ən səmərəli proses hesab etmək olar. Çuqun və şüşə bərk ovuntularının misləndirilməsi həmçinin briketlərin preslənməsinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırılmasına səbəb olur, sonra isə sistemdə mis və şüşə maye fazalarının iştirakı hesabına bişirmə prosesinin intensivliyinin artmasında mühüm rol oynamışdır.

9. Dəmir-çuqun-şüşə sistemi komponentlərinin diffuziya əmsalının ehtimal olunan ədədi vuruğusu və diffuziya əmsalının loqorifmik qiyməti təyin edilmiş, diffuziya əmsalının loqorifmik qiyməti ilə aktivləşdirmə enerjisi arasındakı korrelyasiya asılığы müəyyən olunmuşdur. Ancaq bu korrelyasiya asılığы şüşə kimi amorf ərintilər üçün təqribi dəqiq olmayan hesab edilir. Müxtəlif tabalma proseslərinin təcrübi qiymətlərinə görə diffuziya əmsalının hesabı aparılmış, A və B komponentlərindən ibarət binar sistemlərin heterodiffuziya əmsalı  $D$ , bu komponentlərin parsional diffuziya əmsalları vasitəsilə ifadə edilərək təyin edilmişdir.
10. Dəmir-çuqun-şüşədən ovuntu materiallarının təcrübi (eksperimental) tədqiqatlarının nəticələri verilmiş, bişirilmiş materialların antifriksion xassələrinin formalaşmasında misləndirilmiş dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiya materiallarında bərk yağlayıcıların (qrafit, mis içqarışıqları) və bərk içqarışıqların (çuqun, şüşə) rolu təyin edilmiş, göstərilmişdir ki, kompozitin antifriksion xassələrinin azalmasının qarşısını almaq üçün bərk yağlayıcıların miqdarı 10%-dən çox olmamalıdır.
11. Bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə kompozitinin quru sürtünmə iş şəraitində yük qaldırma qabiliyyətini artırmaq üçün onları hökmən yenidən sıxlaşdırmağın lazımlığı müəyyənləşdirilmiş, bişirilmiş pəstahların konusvari matrisada yenidən sıxlaşdırılması prosesinin kinematikasını tədqiq edilərək (ekstruziya) sıxlaşdırma prosesinin kinematikasının keyfiyyət və miqdarca qiymətləndirilməsi həyata keçirilmiş və bişirilmiş pəstahların bununla əlaqəli deformasiya xarakteristikaları verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, məsələli pəstahların məsələlərin azalması hesabına sıxlaşması nəticəsində ovuntu materialının X və Y oxları boyunca sürüşmə sürətləri töküklə müqayisədə uyğun olaraq 8 və 12% aşağıdır.



12. Metallaşdırılmış çuqun və şüşə ovuntularının istifadəsində, həmçinin ekstruziya şəraitində bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşənin yenidən sıxlaşdırılması ilə quru sürtünmə rejimində materialın yükqaldırma qabiliyyəti və pəstahın sıxlığının artdığı göstərilmişdir. Quru sürtünmə rejimi şəraitində dəmir-çuqun-şüşənin yükqaldırma qabiliyyəti 6-8 MPa-la qədər çatır, bu isə olduqca müsbət sərəfə hesab edilir. Bişirilmiş materialların tərkibi, xassələri və məsaməliyi arasında qarşılıqlı əlaqə müəyyənləşdirilərək təyin edilmişdir ki, bişirilmiş cisimlərin xassələrinin miqdarca izahı olduqca çətindir, amma çoxlu miqdarda təcrübi nəticələr toplayaraq informasiya texnologiyalarının köməyi ilə bu problemi həll etmək mümkündür.
13. Dəmir-çuqun-şüşədən bişirilmiş kompozitin möhkəmlik xarakteristikalarının formalaşmasına dəmir ovuntusunun növünün təsiri tədqiq edilərək göstərilmişdir ki, püskürsülmüş ovuntu ilə müqayisədə, reduksiya edilmiş dəmir ovuntusundan istifadə halında daha yaxşı xassələrə nail olunmuşdur. Reduksiya edilmiş ovuntunun yüksək həddə pambıqvarı və səthinin inkişaf etmiş olması dəmir matrisaya legirleyici elementlərin diffuziyasını sürətləndirmişdir. Bu dənəvərləşdirmə və tabalma proseslərində reduksiya edilmiş ovuntunun alınma halında dəmirin qəfəsinin daha çox dağılması ilə əlaqələndirilmişdir.
14. Dəmir-çuqun-şüşə kompozitinin bişirmə prosesinin xüsusiyyəti tədqiq edilərək müəyyən edilmişdir ki, belə materialların bişirmə prosesi iki mərhələdə gedir: başlanğıc, hansı ki, “aktiv” oturmaya və sonuncu-passiv oturmaya uyğun gəlir. Qeyd edilmişdir ki, bişirmənin intensivliyinə əhəmiyyətli təsiri ovuntuların ölçüləri göstərir, yəni, ovuntu nə qədər kiçikdirsə, bişirmə bir o qədər sürətli gedir.
15. Tədqiqat nəticələrinin Azərbaycan Respublikasının sənaye müəssisələrində tətbiqinin xüsusi sahələri analiz edilə bilər. İşlənmiş materialların xarakteristikalarının analizi və sənayələrin (spesifikliyi) xüsusiyyəti bu materialların müxtəlif maşın və avadanlıqların sürtünmə qovşaqlarında istifadəsi üçün məsləhət görməyə imkan verir. Tədqiqatın nəticələri 8TJI.210.005. “Oymaq” detallarının texnologiyasının işlənməsinə imkan vermişdir. Soyuq presləmə təzyiqinin

1000 MPa və 1150<sup>0</sup>C temperaturda, 2 saat müddətində bişirmə texnologiyasının istifadə edilməsi, həmçinin bişirilmiş dəmir-çuqun-şüşə materialının ekstruziya şəraitində yenidən sıxlaşdırılması imkan vermişdir ki, ovuntu kompozisiya materialının yorğunluğa uzunömürlüyü 20-70%, təmirarası istismar müddəti isə 25-35% artsın. 8ТЛ.210.005. “Oymaq” detalları üçün 1000 detal həcmində istehsal texnologiyasının tətbiqi ildə 345600 manat miqdarında iqtisadi səmərə verir.

### **Dissertasiya işininin mövzusu üzrə dərc edilmiş əsərlər:**

1. Cabbarov, T.Q., Иманов, Х.И. Износостойкость порошковых композиционных материалов «железо-чугун-стекло» при трении без смазок. // АЗТУ, Елми эсерлер. – Бақы, – 1993, № 4, – с.30-32.
2. Cabbarov, T.Q., Sadiqov, V.B. «Dəmir-çuqun-şüşə» sistemli yeyilməyə davamlı ovuntu kompozisiya materialında şüşə ovuntusunun miqdarının mexaniki və tribotexniki xassələrinə təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Elmi əsərləri. – Bakı, 2004, №2, – s.51-53.
3. Cabbarov, T.Q. Radial sıxılmada dəmir-çuqun-şüşə ovuntu kompozisiya materialının elastik əks-təsirinin azaldılması üsulları. // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri. – Bakı, 2020. – Cild 22, № 4, – s.56-59.
4. Джаббаров, Т.Г. Радиальное обжатие пористых втулок из железо-стекла, упрочняемых в жесткой оправке. // Вестник высших технических учебных заведений Азербайджана. E-ISSN: 2674-5224. – Баку, – 2021, – с.29-35. DOI: 10. 36962/PAH TEI.
5. Jabbarov, T.G. Compaction of porous powder body consisting of the elastic-plastic medium. // Eastern-European Journal of enterprise technologies. ISSN1729-37746/7(96). – Charkov, 2018, 6/7(96). – pp.44-48.
6. Jabbarov, T.G., Dyshin, O.A., Babanlı, M.B., Abbasov I.I. Mathematical Modelling of the Sintering Process of Iron Based Metal-Glass Materials. // Progress in physics of metals. ISSN 1608-1021. – Kiyev, 2019. – Vol.20, № 4, – pp.584-619.
7. Jabbarov, T.G., Aslanov, J.N., Shahmarova, R.S. Saturation of

- glass particles with meal during sintering of a composite material of the iron-glass system. // «EUREKA: Physics and Engineering». ISSN 2461-4254. – Tallin, 2021. – Vol.32, – pp.106-112.
8. Jabbarov, T.G., Dyshin, O.A., Babanli, M.B., Abbasov, I.I. Numerical simulation of the sintering process of multicomponent composite materials based on iron and glass. // STS “Institute for Single Crystals”. Functional Materials. – 2021, 28, №1, – p0p.158-169. ISSN 1027-5495doi:<https://doi.org/10.15407/fm28.01.158>.
  9. Jabbarov, T.G. Compaction of metal-to-glasporous bodies under conditions of limited passive deformation. // News of Azerbaijan high technical educational institutions. ISSN-1609-1620. – Baku, 2021. – Vol.23, issue 2(130), – pp.35-41.
  10. Jabbarov, T.G. Development of mathematical models of the process of cold pressing of porous bodies in elastic-plastik medium. // Azerbaijan high technical educational institutions. ISSN 1609-1620.– Baku, 2022. – Vol.24, issue 2(136), – pp.58-65.
  11. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z. Nikellə legirlənmiş ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2005, №3, – s.84-85.
  12. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z. Xrommolibdenli ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə termiki emalın təsiri// Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2006, №4, – s.84-85.
  13. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z., Orucov F.S. Nikellə legirlənmiş ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə bişirmə temperaturunun təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2007, №5, – s.40-41.
  14. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z., Orucov F.S. Manqanla legirlənmiş ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2008, №7, – s.76-77.
  15. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z. Manqanla legirlənmiş ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə bişirmə müddətinin təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2009, №1, – s.42-43.

16. Cabbarov, T.Q., Şərifov, Z.Z., Orucov F.S. Nikellə legirlənmiş ovuntu poladlarının mexaniki xassələrinə bişirmə temperaturunun müddətinin təsiri. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri. – Bakı, 2010, №1, – s.10-11.
17. Jabbarov, T.G. Synthesis of "iron-cast iron-glass" obsolete powder composite materials using fuzzy logic and big data base concepts. // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions Prague. – Czech Republic, 2019, – pp.866-871.
18. Jabbarov, T.G., Gurbanov, N.A. Synthesis of Optimal Technological Parameters of "iron-cast-glass" Grinding Composite Materials Using Fuzzy Logic and Big Data Concepts. // 4th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020 Budva. eBook – Montenegro, August 27-28. – Vol.1306. – pp.254-260. ISBN 978-3-030-64058-3, <https://www.springer.com/gp/book/9783030640576>.
19. Jabbarov, T.G. Analysis of the Influence of the Shape of the Matrix on the Compaction of Porous Powder Bodies of "Iron-Cast Iron-Glass". // 11th World Conference "Intelligent System for Industrial Automation" (WCIS-2020), AISC1323, – pp.316-321. ISBN 978-3-030-68004-6, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68004-6\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68004-6_41).
20. Jabbarov, T.G. Compaction scenario for powder elastoplastic medium of "Iron-cast-iron-glass" type. // Tenth World Conference "Intelligent Systems for Industrial Automation" WCIS-2018, 25-26 October 2018. – Tashkent, Uzbekistan, – pp.189-193.
21. Jabbarov, T.G. Evaluation of Force and Kinematic Parameters during Plastic Deformation of Sintered Porous Billets Made Of Iron-Cast Iron-Glass-International Conference on Research in Natural and Engineering Sciences (ICRNES 2020). – Konya, Turkey, – pp-235-246. [https://756d243f-9742-4892987f8834db07019e.filesusr.com/ugd/e42d97\\_cf2](https://756d243f-9742-4892987f8834db07019e.filesusr.com/ugd/e42d97_cf2).
22. Jabbarov, T.G. The choice of powder charges and properties of the powder composite material "iron-cast iron-glass". // Fifth International Iron-Steel Symposium. April 1-3, – Karabuk, Turkey. pp.210-216

23. Джаббаров, Т.Г., Бабаев, А.И. Влияние режимов спекания порошковых оксидированных заготовок на их механические свойства. Современные проблемы физики металлов. // Материалы международной научно-практической конференции. – Баку: Елм, 2007, – с.145-146.
24. Cabbarov, T.Q., İbrahimli, A.M. ЖЧ30СТ6 ovuntu kompozisiya materialının struktur və xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri. // Tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda Respublika elmi-texniki konfransının materialları, AzTU. – Bakı, 2017, – s.120-121.
25. Babanlı, M.B., Cabbarov, T.Q. Konstruksiya ovuntu poladları üçün xrom tirkibli legirləyici əlavələrin seçimi. Metallar fizikasının müasir problemləri. // V Beynəlxalq elmi-praktik konfrans. – Bakı, 2016, – s.122-125.
26. Cabbarov, T.Q. ЖЧ50СТ6 ovuntu kompozisiya materiallarının struktur və xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri. // Gənc alimlərin və aspirantların Respublika konfransının tezisləri. – Bakı, 1997, – s.64-65.
27. Cabbarov, T.Q., Soltanov, A.B. Oksidləşdirmə paramerlərinin ЖЧ50СТ6 ovuntu kompozisiya materialının mexaniki xassələrinə təsiri. // AzTU-nun aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi texniki konfransı. – Bakı, 2002, – s.143-144.
28. Cabbarov, T.Q., Soltanov, A.B. Oksidləşmiş ЖЧ50СТ6 ovuntu kompozisiya materialının tribotexniki xassələrinə bişirmə temperaturunun təsiri. // 46-cı Tələbə elmi-texniki konfransı. AzTU. – Bakı, 2003, – s.46.
29. Cabbarov, T.Q., Soltanov, A.B. Oksidləşdirilmiş «dəmir-çuqun-şüşə» sistemli ovuntu kompozisiya materialının tribotexniki xassələrinə bişirmə temperaturunun müddətinin təsiri. // Aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi-texniki konfransı, AzTU. – Bakı, 2003, – səh.181-184.
30. Cabbarov, T.Q., Soltanov, A.B. Oksidləşdirilmiş «dəmir-şuqun-şüşə» sistemli ovuntu kompozisiya materialının fiziki-mexaniki xassələrinə presləmə təzyiqinin təsiri. // Ali məktəb tələbələrinin XIX respublika elmi konfransı, AzMİU. – Bakı, 2003, – s.120-121.

31. Cabbarov, T.Q. Elektromaqnit səth-qaynağı ilə formalaşmış örtüyün yeyilməyə davamlığı. // Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar. Beynəlxalq elmi praktik konfrans. AzTU, Bakı, 2016, - s.399-400.
32. Cabbarov, T.Q. , Qafarova G.M. X15P5D2T yonqarlarından alınmış ovuntunun texnoloji xassələrinə emal üsullarının təsiri // “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” mövzusunda 2-ci beynəlxalq elmi-texniki konfransı. AzTU, Bakı, 2017, -305-306.
33. Jabbarov, T.G. Development of mathematical models of the of cold pressing of porous bodies in an elastic-plastic medium Second International Scientific -Practica Conference”, Modern Information, measurement and Control Systems: Problems and Perspectives, 2020” (MIMCS-2020) dedicated to the: 100 thanniversary of ASOIU, December 07-08. – Baku, Azerbaijan, 2020, – pp.314-315. E-ISBN: 978-9916-9639-4-4.
34. Jabbarov, T.G., Babanlı, M.B., Ismayilova, K.H. Method of decrease of elastic counteract to the quality of powder materials pressed in closed press-casts. // Thermophysical properties for technical thermodynamics. International Conference “Thermophysical and mechanical properties of advanced materials” and 4<sup>th</sup> Rostocker international symposium, AzTU, 17-18 September. – Baku, 2015, – pp.80-81.
35. Cabbarov, T.Q “Dəmir-çuqun-şüşə” ovuntu kompozisiya materialının tribotexniki xassələrinə bişirmə temperaturu və müddətinin təsiri. // XVIII Beynəlxalq elmi-texniki konfrans “Su nəqliyyatının problemləri”. Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, PHŞ. – Bakı, 2023, – səh.14-16.
36. Джаббаров, Т.Г., Мамедов, А.Т., Иманов, Х.И., Гейдаров, В.А. Шихта для получения износостойкого спеченного материала на основе железа. // Авторское свидетельство №1752508 8 апреля 1992 г.

## **Çap olunmuş əsərlərdə müəllifin şəxsi iştirakı:**

[3,5, 8-10,17,18, 20-23, 31,34,35] sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[1, 2, 4-7, 11-16,19,24-30,32,33,36] sayılı işlərdə məsələnin qoyuluşu, eksperimentlərin aparılması müəllif tərəfindən, tədqiqat nəticələrinin əsaslandırılması isə həmmüəlliflərlə bircə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 24 05 2024-cü il tarixində saat 13.00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

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

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

Avtoreferat 23 04 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.



Çapa imzalanıb: 19 04 2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 76724

Tiraj: 100