

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

SƏTHİ-PLASTİKİ DEFORMASIYA ÜSULU İLƏ İNŞAAT POLADLARININ STRUKTUR VƏ XASSƏLƏRİNİN YAXŞILAŞDIRILMASI

İxtisas: 3312.01 – Materiallar texnologiyası

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Qəşəng Ramazan qızı Həməzəyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Metallurgiya və materiallar texnologiyası" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Texnika elmləri doktoru, professor
Arif Tapdıq oğlu Məmmədov

Rəsmi opponentlər

Texnika elmləri doktoru, professor
Abbas Abdurəhman oğlu Quvalov

Texnika elmləri doktoru, professor
Uğurlu Məhəmməd oğlu Nadirov

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Vurğun Fəxrəddin oğlu Qəhrəmanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.09 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BFD 2.09 Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor
Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:

Texnika elmləri namizədi, dosent
Füzuli Rəsul oğlu Rəsulov

Elmi seminarın sədri:

Əməkdar elm xadimi,
texnika elmləri doktoru, professor
Rafiq Qurban oğlu Hüseynov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Elm və texnikanın inkişafı yeni texnologiyaların, müxtəlif polad və ərintilərin mexaniki, eləcə də istismar xarakteristikalarını yüksəldən effektiv üsulların işlənməsini və istehsalata tətbiqini tələb edir. Aparılmış çoxsaylı elmi və eksperimental tədqiqatlara baxmayaraq hissələrin, düyünlərin, maşın və konstruksiyaların etibarlılığının və uzunömürlülüüyünün artırılması məsələləri ümumilikdə aktual olaraq qalır.

Müxtəlif maşın və mexanizmlərin, konstruksiyaların yüksək gərginliklər şəraitində işləməsini nəzərə alaraq onların müxtəlif elementlərinin istismar xassələrinin yüksəldilməsi problemlərinə xüsusi diqqət yetirilməlidir. Yüksəkmöhkəmlikli polad və ərintilərdən olan maşın hissələrinin konstruktiv möhkəmliyinin yüksəldilməsi daha vacib hesab edilir. Yüksəkmöhkəmlikli polad və ərintilərin istifadəsi məmulatların çəkisinin azaldılması şərtində onların yükəgötürmə qabiliyyətini təmin etməlidir.

Müasir maşınqayırma və tikintinin yüksək kompleks tələbləri bu sahədə alimlər qarşısında ciddi məsələlər qoyur.

Ənənəvi termiki və termomexaniki üsullarla bu məsələləri həll etmək çətinidir. Buna görə də qarşıda duran problemlərin həlli istiqamətində daha effektiv metodların axtarışı və işlənilib hazırlanması vacibdir. Hal-hazırda bu sahədə maşın və konstruksiyaların müxtəlif elementlərinin etibarlılığını və uzunömürlülüüyünü artırmaq məqsədilə yeni möhkəmləndirmə metodlarının tətbiqinə dair böyük təcrübə toplanmışdır.

Çoxsaylı möhkəmləndirmə üsullarından verilmiş konkret hissə üçün həmişə optimal möhkəmləndirmə metodunu seçmək bir o qədər də asan olmur. Buna görə də konstruktiv möhkəmliyi artırmaq üçün tətbiq olunan müxtəlif üsulların effektivliyinin müqayisəsi tələb olunur.

Metal və ərintilərin möhkəmləndirilməsi problemi üzərində çalışan alimlərin (D.D.Papşev, M.A.Balter, Y.S.Şneyder, R.M.Qurov və s.) apardıqları çoxsaylı eksperimental və nəzəri tədqiqatlar göstərir ki, müxtəlif yüklənmə şəraitində işləyən hissələrin möhkəmləndirilməsi üçün ən effektiv üsul səthi – plastiki deformasiyadır (SPD).

Möhkəmləndirici emal prosesləri maşın hissələrinin səthinin son əməliyyat üsulu kimi çox geniş tətbiq sahəsinə malikdir. SPD prosesi hissənin səthindən yonqar çıxarmadan mikronahamarlıqların deformasiyası yolu ilə həyata keçirilir. Nəticədə səthin kələ-kötürlüyünün kəskin azalması, hissənin üst qatlarının möhkəmlənməsi və sıxıcı qalıq gərginliklərinin yaranması müşahidə olunur.

SPD-nin təsir xüsusiyyəti yüksəkmöhkəmlikli poladların mexaniki və istismar xassələrini tam realizə etməyə imkan yaradır. Bu möhkəmləndirmə üsulu konstruktiv və texnoloji gərginlik toplayıcıları olan və hətta ifrat yüklənmə şəraitində işləyən hissələr üçün polad və ərintilərin tətbiqini reallaşdırır.

SPD-nin digər möhkəmləndirmə üsulları ilə birgə tətbiqi yaxşı effekt verir. Kombinəedilmiş möhkəmləndirmə üsulları maşın hissələrinin istismar xarakteristikalarını yüksəltmək üçün əlavə resurs kimi qiymətləndirilməlidir. SPD-nin digər möhkəmləndirmə üsulları ilə kombinasiyası (həcmi plastiki deformasiya + SPD, səthi tablandırma + SPD, kimyəvi termiki emal + SPD və s.) bu üsulların ayrı-ayrılıqda hər birinin üstünlüklərindən və imkanlarından istifadə etməyə və bununla da müxtəlif tələblərə cavab verməyə imkan yaradır. Hər bir üsulun ayrı-ayrılıqda tətbiqindən fərqli olaraq kombinəedilmiş üsulların tətbiqi nəticəsində statiki və tsiklik möhkəmlik göstəricilərinin keyli yüksək qiymətləri alınır.

SPD maşın və konstruksiyalarda istifadə edilən inşaat poladlarından hazırlanan hissələrin yorulma möhkəmliyini, səthin bərkliyini, yeyilməyə qarşı davamlılığını, kontakt dözümlülüyünü, korroziyaya qarşı davamlılığını artıraraq, bununla da maşın və konstruksiyaların uzunömürlülüyünü və etibarlı işini təmin edir.

SPD-nin müxtəlif üsulları ağır nəqliyyat, avtomobil, kənd təsərrüfatı müəssisələrində və maşınqayırma və cihazqayırma sənayesində müvəffəqiyyətlə tətbiq edilir.

Mövcud ədəbiyyatlara baxış göstərir ki, SPD-nin inşaat poladlarına tətbiqi haqqında ümumiyyətlə məlumat yoxdur, başqa sözlə SPD-nin inşaat poladlarının möhkəmləndirilməsinə dair tədqiqat işləri aparılmamışdır və yaxud yox dərəcəsindədir. Buna görə də bu sahədə elmi-tədqiqat işlərinin aparılması dissertasiyanın aktuallığını sübut edir.

Tədqiqatın obyektı və predimetı. Tədqiqatın obyektı olaraq bir sıra inşaat poladlarından hazırlanmış diametri 20 mm, uzunluğu 150 mm olan silindrik formalı nümunələr qəbul edilmişdir. Tədqiqatın predmeti olaraq isə qəbul edilmiş nümunələrdə səthi – plastiki deformasiyası nəticəsində tədqiq olunan (BCт3cn, 10Г2C1, 15ХГ2CMФP və 12ГН2MΦAЮ) inşaat poladlarının mexaniki və istismar xassələri öyrənilmişdir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Səthi-plastiki deformasiya proseslərinin inşaat poladının strukturunun formalaşmasına, gərginlik halına, mexaniki və istismar xassələrinə təsirini öyrənməkdən ibarətdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı məsələlər qoyulmuşdur.

- səthi-plastiki deformasiya üsullarının (kürəciklə diyirləmənin və almazla hamarlamanın) inşaat poladlarının möhkəmlik xassələrinin artırılmasında rolunun araşdırılması;
- metal konstruksiyaların etibarlılığının və uzunömürlülüüyünün artırılması məqsədilə səthi-plastiki deformasiyanın effektiv üsulunun seçilməsi və əsaslandırılması;
- səthi-plastiki deformasiya üsullarının tədqiq olunan inşaat poladlarının həndəsi parametrlərinə (səthin nahamarlığına) və fiziki-mexaniki xassələrinə (qalıq gərginliklərinə və metalın üst qatlarının döyənəklənməsinə) təsirinin öyrənilməsi;
- inşaat konstruksiyalarının hazırlanmasında istifadə olunan inşaat poladlarının istismar xarakteristikalarının yüksəldilməsinin tədqiqi.

Tədqiqat metodları. İşin yerinə yetirilməsi zamanı qarşıya qoyulmuş məsələlər laboratoriya və istehsalat şəraitində aparılmış nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında həll edilmişdir. SPD-nin maşın və konstruksiyalarda istifadə edilən inşaat poladlarından hazırlanan hissələrin struktur və xassələrinə təsirinin öyrənilməsi üçün tədqiqatların aparılması prosesində müasir cihaz və avadanlıqlardan, sınaq qurğularından, mikroskoplardan, bu məqsəd üçün xüsusi olaraq hazırlanmış dinamometrik tərtibatlardan istifadə edilmişdir. Tədqiqatların aparılmasında kompüter texnologiyalarının imkanları geniş tətbiq olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Səthi-plastiki deformasiya üsullarının hissələrin üst qatlarının keyfiyyətinə təsirinin eksperimental tədqiqi və inşaat poladlarının istismar xassələrinin artırılması məqsədilə rəşional üsulun seçilməsi.

2. Seçilmiş optimal səthi-plastiki deformasiya üsulu ilə möhkəmləndirmənin texnoloji prosesinin məmullatların yorulma möhkəmliyinə, yeyilmə davamlılığına, korroziyaya dözümlüliiyünə və digər mexaniki və istismar xassələrinə təsir mexanizminin tədqiqi.

3. İnşaat poladlarından hazırlanmış möhkəmləndirilməmiş və səthi-plastiki deformasiya üsulu ilə möhkəmləndirilmiş hissələrin istismar şəraitində müqayisəli təcrubələrin aparılması.

4. İnşaat poladlarının SPD üsulu ilə möhkəmləndirilməsinin texnoloji prosesinin istehsalatda tətbiqinə dair təklif və tövsiyələrin irəli sürülməsi.

Nəticələrin dürüslüiyü. Alınmış nəticələrin dürüslüiyü müasir avadanlıqların, cihazların, ölçmə vasitələrinin, qurğuların, ləvazimatların tətbiqi ilə aparılan tədqiqatlarla təsdiqlənmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. İnşaat metal konstruksiyalarının hazırlanmasında geniş tətbiq olunan (БСТЗСП, 10Г2С1, 12ГН2МФАО, 15ХГ2СМФР) poladların strukturunun formalaşması, xassələrinin dəyişilməsi ilə SPD-nin parametrləri arasında qarşılıqlı əlaqə qurulmuşdur.

Tədqiq olunan poladlar üçün səthin bərkliyinin və nahamarlılığının kürəiklə diyirlənmə və almazla hamarlama proseslərinin əsas parametrlərindən asılılığının riyazi modeli işlənib hazırlanmışdır. Alınmış asılılıqlar inşaat poladlarının xassələrini təmin etmək məqsədilə SPD-nin rəşional rejimlərini seçməyə imkan vermişdir.

Aparılan tədqiqatlar nəticəsində inşaat poladlarını möhkəmləndirmək üçün tətbiq edilən almazla hamarlamanın optimal rejimləri müəyyən edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, almazla hamarlama zamanı qalıq austenitinin parçalanması və martensitə çevrilməsi baş verir.

Ədəbiyyatda yer alan bəzi fikirlərin əksinə olaraq müəyyən edilmişdir ki, almazla hamarlamadan sonra inşaat poladlarının zərbə özlüliiyü onların tablandırma + ortatəperaturlu tabəksiltmədən

sonrakı özlülüyündən aşağı deyil. Hətta bəzi hallarda hamarlanmış poladların zərbə özlülüyü 2-3% yuxarı olur.

Bəzi müəlliflərin fikrincə yüksək yüklənmə və zərbə yükləri şəraitində işləyən hissələrin səthinin döyənəklənməsi kövrək dağılma nəticəsində onların vaxtından əvvəl sıradan çıxmasına səbəb olur. Lakin bizim tərəfimizdən aparılan eksperimental tədqiqatlar əks nəticələr verir. Sınaqlar göstərir ki, almazla hamarlama yolu ilə aparılan səthi – plastiki deformasiya üsulu materialda çətin inkişafına qarşı müqavimətə müsbət istiqamətdə ciddi təsir edir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Kompüter modelləşdirilməsinin nəticələri SPD proseslərinin optimallaşdırılması üçün istifadə edilə bilər.

Tədqiqat işinin nəticələri inşaat poladlarından metal konstruksiyalar və məmulatlar istehsal edən müəssisələrdə, eləcə də elmi-tədqiqat institutlarında tətbiq edilə bilər. Nəticələrin istehsalatda tətbiq edilməsi inşaat konstruksiyalarının və məmulatlarının uzunömürlülüyünün yüksəldilməsinə xidmət edir.

Aprobasiya və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas məzmunu 16 məqalə və konfrans materiallarında dərc olunmuşdur. Onlardan 8-i elmi məqalə (2 məqalə Beynəlxalq bazalarda indeksləşən xarici elmi jurnallarda, 6 məqalə AAK-ın siyahısına daxil edilmiş respublika jurnallarında), 8-i isə Beynəlxalq və respublika konfranslarında çap olunan məruzələrin tezisiidir.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları ölkədə və xaricdə keçirilmiş elmi–praktik konfranslarda və seminarlarda müzakirə olunmuş və bəyənilmişdir.

1. Proceedings of the International Scientific Conference. “International Trends in Science and Technology” Warszawa, Poland. October 17, 2017.
2. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illiyinə həsr olunmuş professor-müəllim heyətinin, doktorantların və gənc tədqiqatçıların Beynəlxalq Elmi Konfransı. Bakı, AzMİU, 26-27 aprel 2018.
3. Respublika Elmi-Praktiki Konfrans. “Tikinti istehsalatında texnoloji maşınların istifadəsinin müasir problemləri”, Bakı, 2019.

4. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 97-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və magistrantların 42-ci Elmi Konfransı. Bakı, AzMİU, 2020.
5. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 97-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və magistrantların 42-ci Elmi Konfransı. Bakı, AzMİU, 2020.
6. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş Respublika Elmi-Texniki Konfrans “İstehsalatda innovativ texnika və texnologiyaların tətbiqi perspektivləri”. Bakı 23 dekabr 2023.
7. XII Международная Научно-Практическая Конференция Science And Technologies. Сборник тезисов. Алматы, Казахстан 30 июн 2024.
8. Международная научно-техническая конференция Современные машиностроительные системы, технологии и инновации – Воронеж: 06.03.2025.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Azərbaycan Texniki Universitetinin “Metallurgiya və materiallar texnologiyası” kafedrası.

Müəllifin şəxsi iştirakı. Dissertasiya işində təcrübi tədqiqatların aparılması, alınan nəticələrin işlənməsi və materialların çapa hazırlanması, əsasən müəllif tərəfindən həyata keçirilmişdir. Həmmüəllif olduğu elmi əsərlərdə müəllifin payı həlledici olmuşdur.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 170 səhifə kompüter mətnində yazılmış, 4 fəsildən, 26 şəkildən, 23 qrafikdən, 14 cədvəldən, 173 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir.

Dissertasiya işinin strukturu – giriş 9785, birinci fəsil 66287, ikinci fəsil 46078, üçüncü fəsil 48662, dördüncü fəsil 31103, nəticə-5217, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı 28184 işarə sayından və əlavələr təşkil edir. Dissertasiya ümumi 207132 işarə həcmindədir (mündəricat, qrafiklər, cədvəllər, şəkillər və ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla).

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış və işlənmə dərəcəsi xarakterizə edilmiş; tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, metodları göstərilmiş; müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi; aprobasiya və tətbiqi, işin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı, struktur bölmələrinin ayrılıqda və ümumi həcmi haqqında məlumatlar verilmişdir.

Birinci fəsilə möhkəmliyi artırılmış və yüksəkmöhkəmlikli inşaat poladlarının istehsalı və istifadəsi yönündə kifayət qədər material toplanmışdır. Termiki və termomexaniki emal kütləvi metal istehsalı şəraitində inşaat poladlarının konstruktiv möhkəmliyini təmin edən effektiv üsula çevrilib.

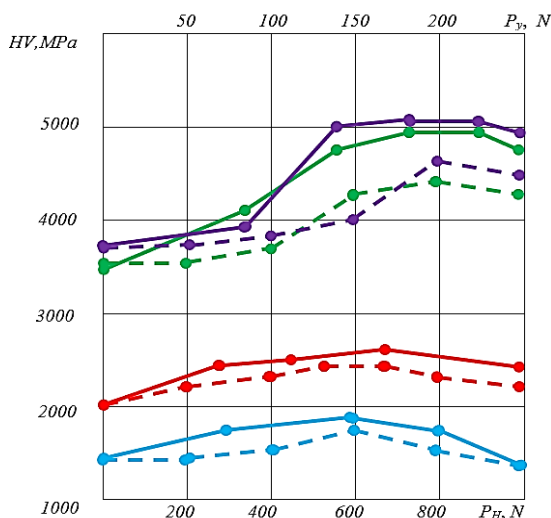
Lakin göstərilən möhkəmləndirmə üsulları metal konstruksiya-ların və məmulatların hazırlanmasında istifadə olunan inşaat poladla-rının konstruktiv möhkəmliyini tam təmin edə bilmir. Buna görə də metal konstruksiya-lar üçün inşaat poladlarının lazımi mexaniki və istismar xarakteristikalarını təmin edə biləcək mütərəqqi texnoloji pro-sesin axtarışına ehtiyac duyulur.

Inşaat poladlarının mexaniki və istismar xassələrini artırmaq məqsədilə effektiv möhkəmləndirmə metodunu müvəffəqiyyətlə seç-mək üçün metal məmulatların və konstruksiya-ların iş şəraiti və qoyu-lan tələblər analiz edilmiş və öyrənilmişdir.

Aparılmış ədəbiyyat icmalı göstərir ki, kürəciklə diyirləmə və almazla hamarlama SPD-nin digər üsulları qarşılığında bir çox üstün-lüklərə malikdir. Bu əməliyyatlar sadədir, əməktutumu aşağıdır, xü-susi avadanlıq və tərtibat tələb etmir, adətən universal dəzgahlarda ye-rinə yetirilir, əməliyyatın texnoloji xərcləri çox deyil. Çünki diyirləmə və hamarlama proseslərini aparmaq üçün qiymətli avadanlıqların və tərtibatların tətbiqinə ehtiyac duyulmur. Hər iki üsulu yüksək sürətlə və məhsuldarlıqla yerinə yetirmək mümkündür.

Beləliklə, analiz nəticəsində müəyyən edilir ki, müxtəlif mate-rialların dözümlülük həddini, kontakt möhkəmliyini, korroziyaya dayanıqlığını və yeyilməyə davamlılığını artırmaq və səthin kələ-kötrlüyünü azaltmaq üçün kürəciklə diyirləmə və almazla hamarlama olduqca effektiv metodlardır.

İkinci fəsildə SPD-nin БСТ3сн, 10Г2С1, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından hazırlanmış nümunələrin səthi bərkliyinə təsirini öyrənmək məqsədilə onların birinci partiyası termiki emaldan sonra diametri 5 mm olan kürəciklə 56m/dəq. sürətlə diyirləmə prosesinə uğradılmışdır. Verişin qiyməti $S_o=0,12\text{mm/dövr}$ və işçi gedişlərin sayı $i=1$ qəbul edilmişdir. Həmin poladlardan olan nümunələrin ikinci partiyası radiusu $R_{sf}=2\text{mm}$ olan almaz ucluq vasitəsilə hamarlanmışdır. Emal sürəti $V=56\text{m/dəq}$, verişin qiyməti $S_b=0,06\text{mm/dövr}$, gedişlərin sayı $i=1$ qəbul edilmişdir [12]¹. Alınmış nəticələr qrafik 1-də göstərilmişdir.



Qrafik 1. Səth bərkliyinin normal qüvvədən asılılığı:

■ ■ ■ – kürəciklə diyirləmə; — — — — — almazla hamarlama;
 ■ ■ ■ – БСТ3сн; ■ ■ ■ – 10Г2С1; ■ ■ ■ – 15ХГ2СМФР; ■ ■ ■ – 12ГН2МФАЮ

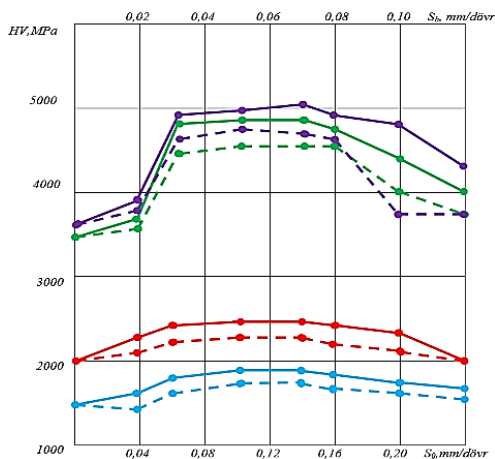
Almazla hamarlama zamanı səth bərkliyinin artması kürəciklə diyirləməyə nisbətən daha yüksək alınır və bu qiymət daha kiçik qüvvə

¹ Hamzayeva, G.R. Mechanical properties of structural steel after diamond burnishing // - Moskva: Russian Engineering Research, -2023. vol 43, №12, - pp.1531-1534.

nəticəsində əldə olunur. BCт3cn və 10Г2C1 poladlarından hazırlanmış nümunələrin bərkliyinin artımı (420 *HV*) almazla hamarlamada 150-160 *N* qüvvə zamanı alınmışdır.

Kürəciklə diyirləmə nəticəsində həmin poladların səthi bərkliyinin artımı 350 *HV* olmuş və bu qiymət 600-700 *N* qüvvə zamanı əldə edilmişdir. 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladları üçün də analogi nəticələr alınmışdır. Lakin bu poladlar üçün maksimal bərklik nisbətən böyük qüvvələr şəraitində alınır.

Kürəciklə diyirləmə və almazla hamarlama zamanı verişin tədqiq olunan poladların səthi bərkliyinə təsiri öyrənilmişdir (qrafik 2). Bu zaman qüvvə diyirləmədə $P_H = 800 \text{ N}$, hamarlamada isə $P_y = 180 \text{ N}$ qəbul edilmişdir [4].



Qrafik 2. Səthi bərkliyin verişdən asılılığı:

■ ■ ■ – kürəciklə diyirləmə; — — — — — almazla hamarlama;

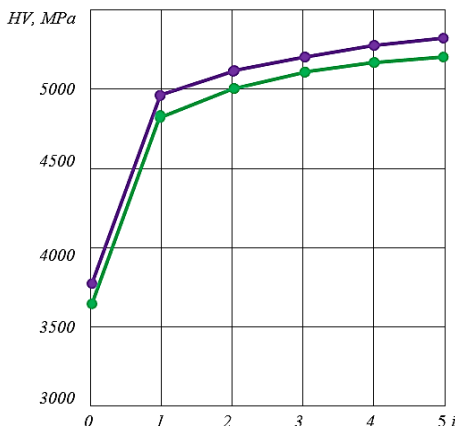
■ — BCт3cn; ■ — 10Г2C1; ■ — 15ХГ2СМФР; ■ — 12ГН2МФАЮ

Alınmış qrafiklərdən göründüyü kimi BCт3cn, 10Г2C1, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından olan nümunələrin möhkəmləndirilməsində verişin kürəciklə diyirləmə zamanı 0,06-dan 0,16 *mm/dövr.*-ə qədər almazla hamarlama zamanı isə 0,03-dən 0,07 *mm/dövr.*-ə qədər artması səthin bərkliyinə praktiki olaraq təsir etmir.

Verişin qiyməti emal edilən materialın səthinin hər bir nöqtəsinə düşən təkrarlanan yükü müəyyən etdiyindən möhkəmlənmə dərəcəsinə ciddi təsir göstərir.

Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, almazla hamarlama zamanı verişin qiymətinin $0,03 \text{ mm/dövr}$ -dən, kürəciklə diyirləmə zamanı isə $0,06 \text{ mm/dövr}$ -dən aşağı düşməsi hər nöqtəyə düşən yükün təkrarlanan sayını artırdığından ifrat döyənəklənmə baş verir və metalın səthi bərkliyi bir qədər azalır [4]².

Gedişlərin sayının möhkəmləməyə təsiri 15XГ2CMФP və 12ГH2MΦAЮ poladlarında öyrənilmişdir. Qrafik 3-dən göründüyü kimi hər iki polad üçün almazla hamarlama zamanı möhkəmlənmə (səthi bərklik) əsasən birinci gedişdə baş verir [4].



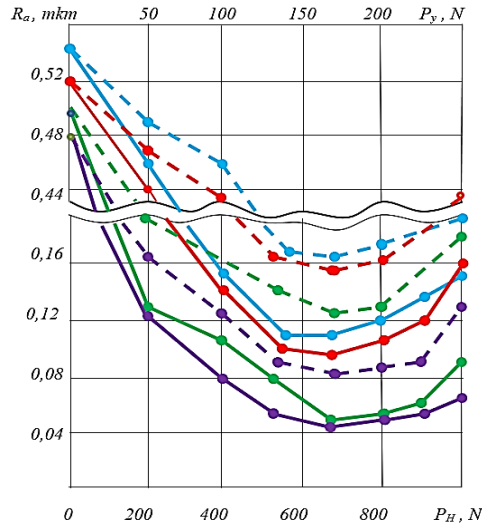
Qrafik 3. Almazla hamarlama zamanı səthi bərkliyin gedişlərin sayından asılılığı:

■ $-15XГ2CMФP$; ■ $-12ГH2MΦAЮ$

Gedişlərin sayının beşə qədər artırılması səthin bərkliyinin bir qədər artmasına səbəb olsa da məhsuldarlıq kəskin azaldığından belə sayda gedişlərin tətbiqi məsləhət görülmür.

² Həmzəyeva, Q.R., Məmmədov, A.T. Aslanov, T.İ. Səthi-plastiki deformasiya parametrlərinin səthin bərkliyinə təsiri haqqında // AzTU Elmi Əsərləri, -Bakı: -2018. №3, -s. 27-32.

SPD nəticəsində yaranan mikronahamarlığın hündürlüyünə emal qüvvəsi daha çox təsir göstərir. Tədqiq olunan inşaat poladlarından hazırlanmış nümunələrin profilin orta ədədi meyllənməsinə (R_a) təsirini müəyyən etmək üçün aparılmış eksperimental təcrübələrin nəticələri qrafik 4-də göstərilmişdir.



Qrafik 4. Profilin orta ədədi meyllənməsinin emal qüvvəsindən asılılığı:

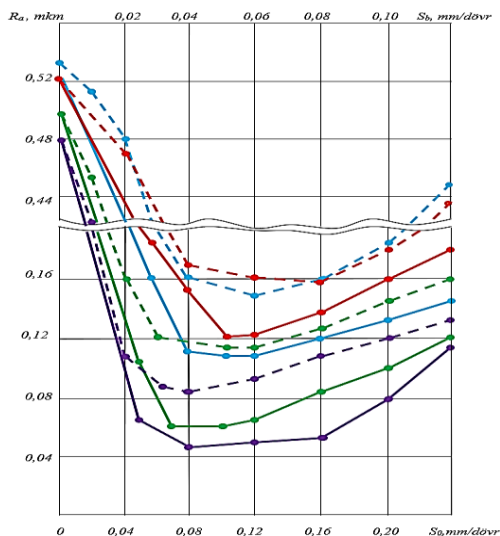
■ ■ ■ – kürəciklə diyiqləmə; — — — — — almazla hamarlama;

—BCт3cn; —10Г2С; —15ХГ2СМФР; —12ГН2МФАЮ

Emal qüvvəsinin birinci sahə həddində dəyişməsi kələ-kötürlüyün azalmasına səbəb olur. Çünki bu halda deformasiyaedici alətin emal edilən materialla kontaktı nahamarlığın çıxıntılarının təpə hissəsində baş verir. Deformasiyaedici qüvvənin müəyyən qiymətindən sonra onun artmasına baxmayaraq kələ-kötürlüyün azalması dayanır.

SPD zamanı verişin dəyişdirilməsi profilin orta ədədi meyllənməsinə ciddi təsir göstərir (qrafik 5). BCт3cn, 10Г2С1, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından hazırlanmış nümunələrin səthinin

kələ-kötrlüyünün emal verişindən asılılığı qrafikdən görünür ki, bütün poladlar üçün minimal nahamarlıq diyirləmə zamanı verişin $0,06\text{--}0,14\text{ mm/dövr}$, hamarlama zamanı isə $0,03\text{--}0,07\text{ mm/dövr}$ qiymətlərində alınır [10]³.



Qrafik 5. Profilin orta ədədi meyllənməsinin verişdən asılılığı [10]:

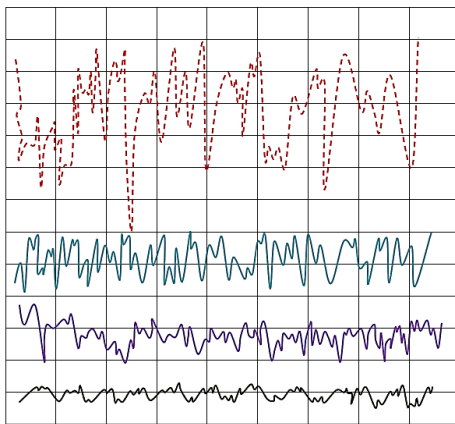
■ ■ ■ – kürəciklə diyirləmə; — — — — — almazla hamarlama;
 ■ —BCт3cn; ■ —10Г2С; ■ —15ХГ2СМФР; ■ —12ГН2МФАЮ

Verişin qiymətinin hər iki möhkəmləndirmə üsulu üçün göstərilən qiymətdən yüksək olması səthin kələ-kötrlüyünün xeyli artmasına səbəb olur.

Aparığımız eksperimental tədqiqatların nəticələri göstərir ki, profilin orta ədədi meyllənməsi kürəciklə diyirləmə zamanı 3-6, almazla hamarlama zamanı isə 5-10 dəfə azalır.

³ Гамзаева, Г.Р. Влияние подачи и числа проходов при алмазном выглаживании на шероховатость // - Дніпро: Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, -2022. №34, -с.16-22.

Profiloqramdan görünür ki, paradaqlanmış nümunənin nahamarlığı ilə hamarlanmış nümunələrin nahamarlığı arasında ciddi fərq var (şəkil 1). Digər tərəfdən almazla hamarlama qüvvəsinin artması ilə kələ-kötrlüyün hündürlüyü və forması müsbət istiqamətdə dəyişir (hündürlük azalır, dayaq sahəsi artır).



Şəkil 1. 15XГ2CMФP poladından olan nümunələrin səthinin profiloqramları:

şaquli böyütmə x 60000, üfüqi böyütmə x 200

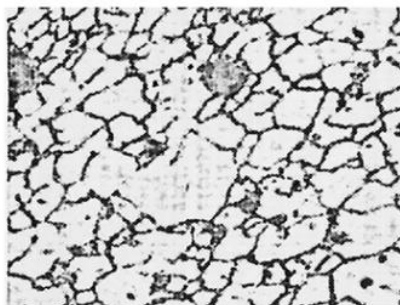
- ■ - paradaqlama; ■■ - almazla hamarlama ($P_y = 50 \text{ N}$);
- - almazla hamarlama ($P_y = 130 \text{ N}$);
- - almazla hamarlama ($P_y = 150 \text{ N}$)

Müxtəlif səthi bərkliyə malik BCт3cп və 10Г2C1 poladlarından olan paradaqlanmış və hamarlanmış nümunələrin mexaniki xassələrinin sınağı göstərdi ki, almazla hamarlama bu poladların möhkəmlik həddinə və axıcılıq həddinə demək olar ki, təsir etmir (bu zaman möhkəmlik xassələrinin artımı ~ 1% təşkil edir). Almazla hamarlama 15XГ2CMФP və 12ГН2MФAЮ poladlarının möhkəmlik və axıcılıq hədlərini paradaqlamaya nisbətən 6-10% artırır [5]⁴.

⁴ Həməzəyeva, Q.R., Aslanov, T.İ. Səthi-plastiki deformasiyanın inşaat poladının mexaniki xassələrinə təsiri haqqında // Tikinti istehsalatında texnoloji maşınların istifadəsinin müasir problemləri mövzusunda Elmi-Praktiki Konfrans, Bakı: -2019, -s. 22-25.

Almazla hamarlama zamanı metalın üst qatlarında struktur halına təsir göstərən əsas amil möhkəmlənmə zamanı yaranan plastiki deformasiyadır. Plastiki deformasiya kristalların müəyyən sahələrində müstəvilər üzrə sürüşmə yolu ilə baş verir. Nəticədə iri kristallar xırdalanır və üst qatlarının strukturu xıradənəli (*tekstur*) alınır.

Tədqiq olunan 15XГ2CMΦP poladının üst qatlarının mikrostrukturu almazla hamarlama vasitəsilə möhkəmləndirmədən əvvəl və sonra şəkil 2-də göstərilmişdir. Almazla hamarlamadan sonra metalın üst qatlarının strukturunda plastiki deformasiyanın izləri açıq-aydın müşahidə olunur. Hamarlama nəticəsində martensit iynələri xırdalanır və deformasiya istiqamətində uzanır [8]⁵.



a)

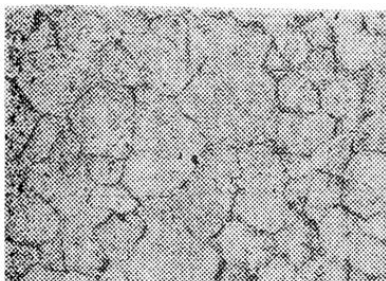


b)

Şəkil 2. Almazla hamarlamadan əvvəl (a) və sonra (b) 15XГ2CMΦP poladının üst qatının mikrostrukturu (x800)

Tədqiq olunan digər poladlar üçün pardaqlamadan və almazla hamarlamadan sonra mikrostrukturların müqayisəsi şəkil 3-5-də verilmişdir.

⁵ Həməyeva, Q.R. Almazla hamarlama zamanı struktur-faza çevrilmələri // - Bakı: AzMİU Elmi əsərləri, -2022. №2, -s.92-96.



a)

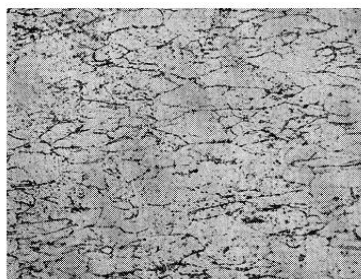


b)

Şəkil 3. Almazla hamarlamadan əvvəl (a) və sonra (b) 12ГН2МΦАЮ poladının üst qatının mikrostrukturunu (x800)

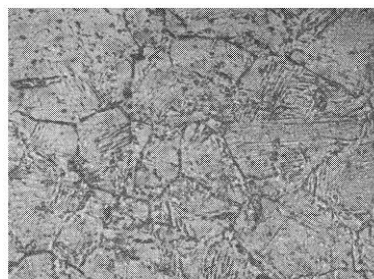


a)

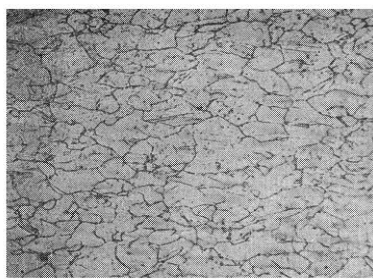


b)

Şəkil 4. Almazla hamarlamadan əvvəl (a) və sonra (b) 10Г2С1 poladının üst qatının mikrostrukturunu (x800)



a)



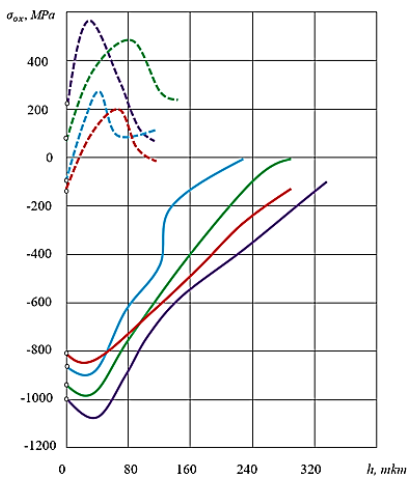
b)

Şəkil 5. Almazla hamarlamadan əvvəl (a) və sonra (b) BC13cn poladının üst qatının mikrostrukturunu (x800)

Üçüncü fəsildə poladda tangensial və oxboyu qalıq gərginliklərini öyrənən zaman iki növ nümunədən istifadə edilmişdir: xarici diametri 20 mm, daxili diametri 14 mm və qalınlığı $\leq 0,4$ mm olan həlqədən (həlqə silindrik nümunənin orta hissəsindən kəsilir); eni 5 mm və qalınlığı 3 mm olan lövhədən.

Nümunədə oxboyu gərginliklərin müəyyən edilməsi yarım-silindrik nümunədən gərginlikli qatların çıxarılması yolu ilə aparılmışdır. Bu zaman 2ПКБ-30-200 tipli tenzodatçıkdən istifadə olunmuşdur. Nümunədən gərginlikli metal qatlarının çıxarılması elektro-kimyəvi aşındırma ilə aşağıdakı tərkibli elektrolit vannasında aparılmışdır: ortofosfat turşusu –60%, sulfat turşusu –15%, xrom anhidridi–10%, su–15%. Elektrolitin temperaturu 30°C olmuşdur.

Qrafik 6-da paradaqlamadan və almazla hamarlamadan sonra tədqiq olunan poladların üst qatlarında yaranan oxboyu qalıq gərginliklərinin müqayisəli epürləri verilmişdir.



Qrafik 6. Oxboyu qalıq gərginliklərin metalın üst qatlarında paylanması:

--- –paradaqlamadan sonra; — –hamarlamadan sonra;

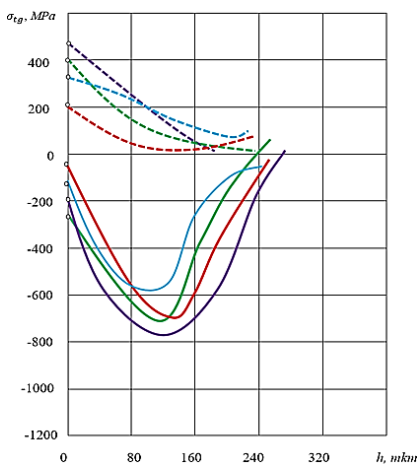
— BCт3cn; — 10Γ2C1; — 15XT2CMΦP; — 12ΓH2MΦAIO

Əyrilərdən göründüyü kimi BCт3cn və 10Γ2C1 poladından olan nümunələrin səthində paradaqlamadan sonra qiyməti 100-120 MPa-ya

bərabər oxboyu sıxıcı qalıq gərginlikləri yaranır. Səthdən 10-20 *mkm* dərinlikdə bu sıxıcı gərginliklər 200 *MPa* qiymətli dartıcı gərginliklərə çevrilir. 15XГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarının səthində paradaqlamadan sonra yalnız dartıcı gərginliklər müşahidə olunur [14]⁶.

Paradaqlamadan fərqli olaraq almazla hamarlama prosesi nəticəsində 15XГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından olan nümunələrin üst qatlarında sıxıcı qalıq gərginlikləri yaranır. Hamarlamadan sonra oxboyu sıxıcı gərginliklərin qiyməti 800-1100 *MPa*-ya çatır. Belə gərginliklər hissələrin istismar xarakteristikalarına müsbət təsir göstərir.

Apardığımız təcrübələrə görə almazla hamarlamadan əvvəl və sonra ВСт3сп, 10Г2С1, 15XГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından hazırlanmış həlqə şəkilli nümunələrdə təyin edilmiş tangensial qalıq gərginliklərinin səthdə paylanma xarakteri və qiyməti qrafik 7-də göstərilmişdir.



Qrafik 7. Tangensial qalıq gərginliklərinin səthdə paylanması:

■ ■ ■ -paradaqlamadan sonra; — — — — —hamarlamadan sonra;

■ — — — — — $-ВСт3сп$; ■ — — — — — $-10Г2С1$; ■ — — — — — $-15XГ2СМФР$; ■ — — — — — $-12ГН2МФАЮ$

⁶ Гамзаева, Г.Р. Остаточные напряжения при поверхностном пластическом деформировании //XII Международная Научно-Практическая Конференция. Science And Technologies. Сборник тезисов, -Алматы: -30 июн, -2024, -с.23-24

Qalıq gərginliklərinin epürlərindən göründüyü kimi pardaqlanmış nümunələrin üst qatlarında materialın istismar xassələrinə mənfi təsir göstərən dartıcı gərginliklər yaranır. Belə gərginliklərin qiyməti 250-500 MPa-ya çatır. Almazla hamarlamadan sonra isə bu dartıcı gərginliklər sıxıcı gərginliklərə çevrilir.

Dinamiki yüklənmə şəraitində işləyən materialın dağılmaya qarşı müqavimətini zərbə özlülüyü xarakterizə edir. Zərbə özlülüyü gərginlik toplayıcıları (kərtik) yaradılmış nümunələrin rəqqaslı sındırıcıda sınaqdan keçirilməsi nəticəsində təyin edilir. Təcrübə ГОСТ 9454-78-ə uyğun kvadrat en kəsiyi 10×10 mm və uzunluğu 55 mm olan nümunələrdə aparılmışdır. Zərbə özlülüyünə sınaqların nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1

Almazla hazırlanmış nümunələrin zərbə özlülüyü

Poladın markası	Emal növü	Zərbə özlülüyü $KCU^{+20}, Mc/m^2$
BCт3сп	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama	0,68
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama + hamarlama	0,71
10Г2С1	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama	0,62
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama + hamarlama	0,66
15ХГ2СМФР	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama	0,55
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama + hamarlama	0,53
12ГН2МФАЮ	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama	0,88
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + pardaqlama + hamarlama	0,85

Alınmış nəticələr göstərir ki, almazla hamarlamaya uğradılmış poladların zərbə özlülüyü praktiki olaraq pardaqlanmış poladların zərbə özlülüyü ilə eynidir.

Metalların özlülüyünün tam xarakteristikasını müəyyən etmək üçün dağılma özlülüyünə sınaq təcrübələri aparılmalıdır. Dağılma

özlülüüyü materialın özlülüyünü və ya onun dağılmaya qarşı göstərdiyi müqaviməti xarakterizə edən xassəsidir. Materialın dağılma özlülüüyü xüsusi sınaqlar vasitəsilə müəyyən edilir.

Cədvəl 2

**Almazla hamarlaşmanın inşaat poladlarının dağılma
özlülüyünə və dağılma işinə təsiri**

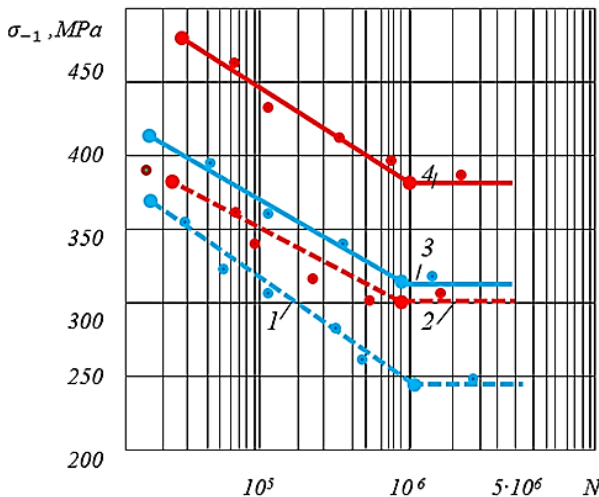
Poladın markası	Emal növü	Dağılma özlülüüyü $K_{1c},$ $MPa \cdot m^{1/2}$	Dağıdıcı yük P_T, N	Dağılma iş A_T, C
BCТ3сп	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama	71-76	5887	18,5
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama + hamarlaşma	92-96	7580	26,6
10Г2С1	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama	105-108	8548	52,5
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama + hamarlaşma	130-133	10564	71,0
15ХГ2СМФР	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama	140-152	12096	51,0
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama + hamarlaşma	218-223	17740	98,4
12ГН2МФАО	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama	167-171	13630	62,8
	Tablandırma, tabəksiltmə 300°C + paradaqlama + hamarlaşma	250-254	20322	112,7

Çatı olan nümunələrin sınağı zamanı poladın kövrək dağılmaya qarşı müqaviməti barədə tam informasiya əldə etmək üçün A_T və K_{1c} kəmiyyətləri ilə yanaşı dağıdıcı yükün (P_T) maksimal qiyməti də analiz edilməlidir. P_T kəmiyyəti ciddi dərəcədə materialın axıcılıq həddindən və karbonun miqdarından asılıdır. Belə ki, axıcılıq həddinin $\sigma_{0,2} \leq 1600 MPa$ qiymətinə qədər artması dağıdıcı yükün də artmasına səbəb olur. Tədqiq olunan inşaat poladlarının axıcılıq həddi

1000 MPa-a qədər olduğundan $\sigma_{0,2}$ –nin artması ilə P_T –nin qiyməti də artır (cədvəl 2).

Almazla hamarlamamanın inşaat poladlarının dözümlülük həddinə təsirinin effektivliyini müəyyən etmək üçün sınaqlar fırlanma ilə əyilmə tətbiq etməklə МУИ – 6000 tipli yorulma maşınında aparılmışdır. Yüklənmə simmetrik tsikl zamanı $5 \cdot 10^6$ tsikl təşkil etmişdir. Diametri 12 mm, uzunluğu 226 mm olan nümunələr ГОСТ 25.503–79-a əsasən hazırlanmışdır.

Yorulmaya sınaqların nəticələrinə görə tədqiq olunan poladların yorulma əyrilərini qurmuşuq (qrafik 8 və 9).

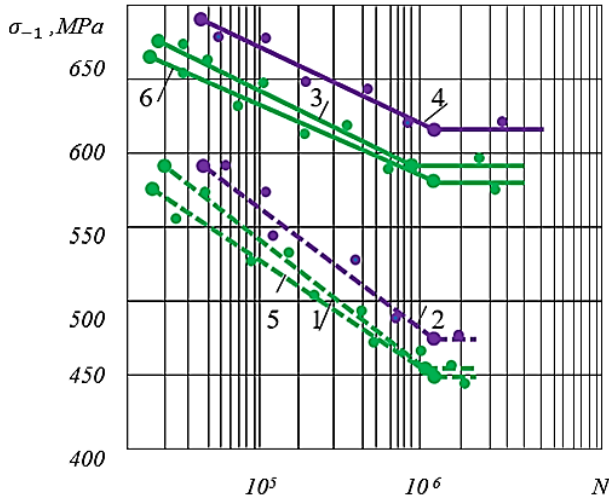


Qrafik 8. —BCТ3сп və —10Г2C1 poladlarının dözümlülük həddinin yüklənmə tsikllərinin sayından asılılığı:
1,2 –pardaqlamadan sonra; 3,4 –hamarlamadan sonra

BCТ3сп və 10Г2C1 poladlarından hazırlanmış paradaqlanmış və almazla hamarlamaya uğradılmış nümunələrin sınaq nəticələrinin müqayisəsi hamarlama texnoloji prosesinin yüksək effektivliyini göstərir (qrafik 8-ə bax). Göründüyü kimi, möhkəmləndirilməmiş (pardaqlanmış) BCТ3сп poladından olan nümunələrin dözümlülük həddi 245 MPa olduğu halda almazla hamarlamadan sonra 314 MPa

təşkil etmiş, 10Г2С1 poladından olan nümunələrin dözümlülük həddi isə 300 MPa-dan 370 MPa-ya qədər artmışdır [9]⁷.

Analoji nəticələr 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladları üçün də alınmışdır. Bu poladların dözümlülük həddi almazla hamarlamadan sonra 30-33% artmışdır (qrafik 9-a bax).



Qrafik 9. — 15ХГ2СМФР (1,3,5,6,) və — 12ГН2МФАЮ (2,4) poladlarının dözümlülük həddinin yüklənmə tsikllərinin sayından asılılığı:

1,2,5—pardaqlamadan sonra; 3,4,6—hamarlamadan sonra;

1-4—eksperimental əyrilər; 5,6—statistik əyrilər

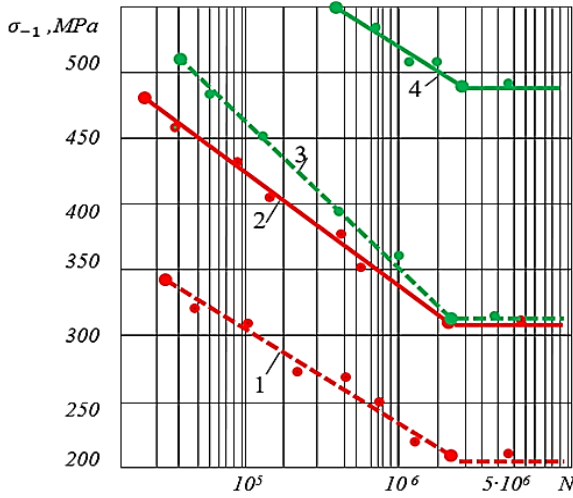
Aparılmış eksperimental tədqiqatlar göstərir ki, almazla hamarlama nəticəsində tədqiq olunan bütün inşaat poladlarının yorulma möhkəmliyi orta hesabla 23-33% artır.

Almazla hamarlamamanın effektivliyini qiymətləndirmək məqsədilə inşaat poladlarının gərginlik toplayıcıları olan şəraitdə də yorul-

⁷ Həmzəyeva, Q.R., Səthi möhkəmləndirmə üsulu ilə inşaat poladlarının istismar xassələrinin artırılması // -Bakı: AzTU Elmi Əsərləri, -2022. №1, -s.27-32.

madan dağılmaya qarşı müqaviməti müqayisəli sınaqdan keçirilmişdir.

Sınaqlar 10Г2С1 və 15ХГ2СМФ poladlarından hazırlanmış diametri 10mm olan nümunələrdə aparılmışdır (qrafik 10).



Qrafik 10. Gərginlik toplayıcıları olan nümunələrin yorulma əyriləri:

■ -10Г2С1; ■ -15ХГ2СМФ;

1,3 – pardaqlamadan sonra; 2,4 – hamarlamadan sonra

Gərginlik toplantıları yaratmaq məqsədilə nümunələrin üzərinə oymaq oturdulmuşdur. Oymağın daxili hissəsindən kənarlarına radiusu 1mm olan dairəvilik verilmişdir. Oymaqların daxili səthinin kələ-kötürlüyü $R_a=0,25...0,40 \text{ mkm}$ alınana qədər pardaqlanmış və cilalanmışdır. Oymaqlar 200°C-yə qədər qızdırıldıqdan sonra nümunənin üzərinə preslənərək oturdulmuşdur.

Sınaq təcrübələrinin nəticələri göstərir ki (qrafik 8), gərginlik toplayıcıları olan pardaqlanmış nümunələrin yorulma möhkəmliyi gərginlik toplayıcıları olmayan pardaqlanmış nümunələrin yorulma möhkəmliyindən xeyli (47-50%) azdır (8, 9 və 10 qrafiklərində verilmiş əyriləri müqayisə edin). Almazla hamarlamadan sonra yorulma

möhkəmliyi artmış və hətta oymaqsız paradaqlanmış nümunələrin dözümlülük həddini də keçmişdir.

Beləliklə, aparılmış eksperimental tədqiqatlar nəticəsində paradaqlama ilə müqayisədə almazla hamarlamanın gərginlik toplayıcıları olan 10Г2С1 və 15ХГ2СМФР poladlarının dözümlülük həddinin 48-55% artdığı sübuta yetirilmişdir.

Almazla hamarlama texnoloji prosesinin dəniz suyu mühitində və nəm atmosfer şəraitində ВСТ3сп, 10Г2С1, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladların korroziyaya qarşı dayanıqlığına təsirini öyrənmək məqsədilə müqayisəli eksperimentlər aparılmışdır [2]⁸.

Dəniz suyu mühitində aparılan tədqiqatların nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3

Dəniz suyu mühitində tədqiq olunan poladların korroziyası

Emal növü	6 ay ərzində korroziya nəticəsində nümunənin çəkisinin azalması, q			
	ВСТ3сп	10Г2С1	15ХГ2СМФР	12ГН2МФАЮ
Tablandırma + tabəksiltmə 300°C + paradaqlama	13,5	13,1	10,7	11,0
Tablandırma + tabəksiltmə 300°C + paradaqlama + hamarlama	12,5	12,0	9,5	9,9

Müxtəlif inşaat poladlarından olan nümunələrin dəniz suyu mühitində aparılmış korroziya sınaqları nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, paradaqlamadan və almazla hamarlamadan sonra səthin möhkəmləndirilməsi poladların korroziyaya dayanıqlığına müsbət təsir göstərir. 6 ay müddətində təbii dəniz suyunda saxlanmış ВСТ3сп poladından hazırlanmış hamarlama ilə möhkəmləndirilmiş nümunələrin korroziya itkisi paradaqlanmış nümunələrə nisbətən 7% az

⁸ Гамзаева Г.Р., Асланов, Т.И. Влияние алмазного выглаживания на чувствительность к концентрации напряжений и на коррозионную стойкость // -Баку: Научные труды АЗАКУ, - 2017. №1, -с. 52–56.

olmuşdur. 10Г2С1, 15ХГ2СМФР və 12ГР2МФАЮ poladlarının korroziyaya dayanıqlığı paradaqlama ilə müqayisədə hamarlamadan sonra 9-11% artır (cədvəl bax).

Nəm atmosfer şəraitində almazla hamarlama ilə möhkəmləndirmə zamanı bütün tədqiq olunan poladlardan olan nümunələrin mikroyefinin müsbət təsiri özünü bariz şəkildə göstərir. Üç ay nəm kamerada saxlanılan paradaqlanmış nümunələrin səthi çoxlu sayda tünd rəngli nöqtələr və ləkələrlə örtülür. Almazla hamarlanmış nümunələrin səthində belə ləkələr müşahidə edilməmiş (bəzi nümunələrin səthində gözlə çox zəif görünən azsaylı nöqtələr müşahidə edilmişdir) və bu, hamarlama vasitəsilə səthin nahamarlığının kəskin azalması nəticəsində həmin poladların atmosfer korroziyasına qarşı dayanıqlığını bir daha sübut edir.

Almazla hamarlamamanın kontakt dözümlülüyünə təsirini müəyyən etmək üçün müqayisəli eksperimental tədqiqatları aparılmışdır. Sınaqlar 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarından hazırlanmış xüsusi nümunələrdə MKB-KM tipli maşında 5000-5500 MPa kontakt gərginliyi şəraitində yerinə yetirilmişdir.

Nümunələrin kontakt dözümlülüyünə sınaqlarının nəticələri aşağıdakı cədvəl 4-də verilmişdir [1]⁹.

Hər iki tədqiq olunan polad üçün ən yüksək kontakt dözümlülüyü 70 N qüvvə ilə hamarlanmış nümunələrdə müşahidə edilmişdir. Hamarlama qüvvəsini 220 N-a qədər artırılması uzunömürlülüyn yüksəlməsinə nəinki səbəb olmur, hətta onun azalmasına gətirib çıxarır. Halbuki, hamarlama qüvvəsi 70 N olduğu zaman 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlardan olan nümunələrin kontakt dözümlülüyü paradaqlanmış nümunələrlə müqayisədə orta hesabla 2,3-2,5 dəfə çoxdur.

220 N qüvvə ilə hamarlama zamanı nümunələrin uzunömürlülüynü 70 N qüvvə ilə hamarlanmış nümunələrlə müqayisədə 1,5 dəfə azalır.

⁹ Гамзаева, Г.Р. О влиянии алмазного выглаживания на контактную выносливость // Conference International Trends In Science and Technology, - Варшава: -2017. Vol 1, -с.18.

Kontakt dözümlülüyünə sınağın nəticələri

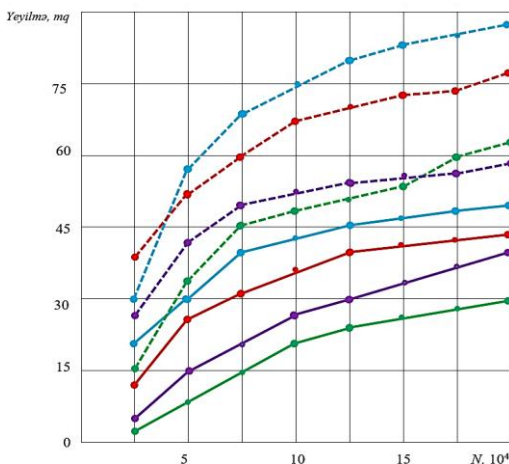
Poladın markası		Emal növü	Kontakt dözümlülüyü, $\times 10^6$ tsikl	Pardaqlanmaya nisbətən hamarlanmış nümunələrin kontakt dözümlülüyünün artımı (%)
15XГ2CMΦP		Pardaqlama	2,5	100
		Hamarlama $P_y, N \quad 50$	4,8	192
		70	6,3	252
		100	5,6	224
		140	5,2	208
		180	4,7	188
12ГН2МΦАЮ		Pardaqlama	3,4	100
		Hamarlama $P_y, N \quad 50$	8,0	235
		70	9,0	242
		140	7,3	215
		220	5,8	172

Sürtünən səthlərin yeyilmə davamlılığının artırılmasında almazla hamarlamanın effektivliyini müəyyən etmək üçün laboratoriya şəraitində yeyilməyə sınaq təcrübələri aparılmışdır. Sınaqların məqsədi pardaqlanmış və hamarlanmış nümunələrin yeyilmə davamlılığını müqayisə etməkdən ibarət olmuşdur [11]¹⁰.

BCr3cp, 10Г2C1, 15XГ2CMΦP və 12ГP2MΦАЮ inşaat poladlarından hazırlanmış nümunələrin sınaq müddətindən asılı olaraq yeyilmə ayriləri qrafik 11-də göstərilmişdir.

Verilmiş ayrılərdən görüldüyü kimi almazla hamarlama pardaqlamaya nisbətən ilkin dövrlərdə (uyuşma dövründə) bütün sınımlanan poladların yeyilmə davamlılığını orta hesabla 3,5 dəfə artırır.

¹⁰ Həməzəyeva, Q.R., Aslanov, T.İ. Hissənin səthinin hamarlama ilə möhkəmləndirilməsi // İstehsalatda innovativ texnika və texnologiyaların tətbiqi perspektivləri, Elmi-texniki konfransın materialları, Bakı: 2023, -s.25-28.



Qrafik 11. — BCт3cn; — 10Г2С1; — 15ХГ2СМФР;

— 12ГН2МФАЮ poladlarının pardaqlamadan (■ ■ ■)

və hamarlamaдан sonra (—) yeyilmə ayriləri

Əyrilərdən görünür ki (qrafikə bax), 25000 tsiklə qədər (təqribən uyuşma dövrü sona çatdıqda) hər bir saat müddətində BCт3cn, 10Г2С1 poladından olan möhkəmləndirilməmiş (pardaqlanmış) nümunələr orta hesabla 36 mq, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladından olan nümunələr isə orta hesabla 22 mq yeyilməyə məruz qalmışdır. Bu müddət ərzində hamarlama ilə möhkəmləndirilmiş nümunələr uyğun olaraq orta hesabla 16 mq və 5 mq yeyilir, başqa sözlə almazla hamarlama yeyilmənin intensivliyini 2–3 dəfə azaldır [13]¹¹.

Dördüncü fəsildə almazla hamarlama texnologiyasının prosesinin rejimlərinin seçilməsi üçün təkliflər verilmiş, inşaat maşınlarının sür-tünən hissələrinin hazırlanması üçün almazla hamarlama texnologiyası işlənmiş, tədqiqatın nəticələrinin istehsalatda tətbiqinin texniki-iqtisadi səmərəliliyi əsaslandırılmış, tədqiqatın nəticələrinin perspektiv tətbiq sahələri müəyyənləşdirilmişdir.

¹¹ Hamzayeva, G.R. Aslanov, T.İ. Impact of surface and plastic deformation to deterioration // Engineering Mechanics Scientific and Technical Journal, -Bakı: - 2024. №1, -pp. 34-38.

ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif inşaat konstruksiyalarında, qurğularda, inşaat-yol maşın və avadanlıqlarında istifadə olunan inşaat poladlarına qoyulan əsas tələblər onların yüksək konstruktiv möhkəmliyidir. İnşaat poladlarının tətbiqini təyin edən əsas xarakteristikalar onların möhkəmliyi, plastikliyi, zərbə özlülüyü, yorulma möhkəmliyi, korroziyaya dayanıqlığı, qaynaq olunma qabiliyyəti, materialda yaranan qalıq gərginliklərinin qiyməti və paylanma xarakteri, eləcə də növüdür.

2. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, polad və ərintilərin ənənəvi möhkəmləndirici termiki, termomexaniki, kimyəvi–termiki emal üsulları və digərləri metal konstruksiyaların etibarlılığını, uzunömürlülüyünü tam təmir etmir. Bu səbəbdən müxtəlif metal konstruksiyalarında istifadə olunan inşaat poladlarının konstruktiv möhkəmliyini artırmaq məqsədilə daha mütərəqqi və effektiv metodun işlənib hazırlanmasına və tətbiqinə ehtiyac duyulur.

3. Müəyyən edilmişdir ki, son zamanlar möhkəmləndirmə üsulu kimi geniş tətbiq olunan səthi-plastiki deformasiya metodları inşaat poladları üçün də məqsədayıqun sayıla bilər. Araşdırmalar inşaat poladları üçün səthi-plastiki deformasiya üsulları sırasından kürəciklə diyirləmə və almazla hamarlamamanın daha effektiv metodlar olduğunu sübuta yetirir. Aparılan tədqiqat işinin əsas məqsədlərindən biri möhkəmləndirmə üsulunun və onun optimal rejimlərinin seçilməsidir.

4. Səthi-plastiki deformasiyanın əsas parametrləri (emal qüvvəsi və uzununa verişi) ilə tətqiq olunan poladların səthinin bərkliyi və kələ-kötürlüyü arasındakı riyazi asılılıq tapılmışdır. Alınmış riyazi asılılıq inşaat poladlarının tələb olunan xassələrini təmin etmək üçün optimal emal rejimlərini seçməyə kömək edir.

5. Yerinə yetirilmiş eksperimental tətqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, səthi-plastiki deformasiya tədqiq olunan poladların səthi bərkliyinin xeyli artmasına səbəb olur. Belə ki, BCT3cn və 10Г2C1 poladlarının səthi bərkliyi kürəciklə diyirləmə nəticəsində 18-24%, almazla hamarlama nəticəsində isə 22-32% artır. 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАЮ poladlarının bərkliyi kürəciklə diyirləmədən sonra 24-29%, almazla hamarlamadan sonra 36-37% yüksəlir.

6. Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, səthi – plastiki deformasiyadan sonra tədqiq olunan bütün poladların səthinin kələ-kötürlüyü xeyli dərəcədə azalması müşahidə olunur. Kürəciklə diyirləmə nəticəsində nümunələrin səthinin kələ-kötürlüyünün $R_a=0,48-0,60$ *mkm*-dən $R_a=0,08-0,16$ *mkm*-ə, almazla hamarlamadan sonra isə $R_a=0,05-0,12$ *mkm*-ə qədər azalır. Eksperimental sınaqlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, inşaat poladlarını möhkəmləndirmək üçün kürəciklə diyirləmə ilə müqayisədə almazla hamarlama daha effektiv və bununla sadə və iqtisadi cəhətdən səmərəli üsuldur. Keçirilmiş nəzəri və eksperimental tədqiqatlara əsaslanaraq tədqiq olunan inşaat poladlarının mexaniki və istismar xarakteristikalarını artırmaq məqsədilə seçilmiş almazla hamarlamanın texnoloji prosesinin optimal rejimləri müəyyən edilmişdir.

7. Paradaqlamadan sonra metalın üst qatlarında metalın istismar xassələrinə mənfi təsir edən dartıcı gərginliklər yaranır. Almazla hamarlamadan sonra isə bu gərginliklər xassələrə müsbət təsir edən 600-1000 MP_a qiymətli sıxıcı gərginliklərə çevrilir. Dartılmaya sınaqlar zamanı alınmış nəticələrdən görüldüyü kimi almazla hamarlama BCт3cп və 10Г2C1 poladlarının möhkəmlik və axıcılıq hədlərinə demək olar ki, təsir etmir (bu zaman artım $\sim 1\%$ təşkil edir). Almazla hamarlama 15XГ2CMФP və 12ГH2MΦAЮ poladlarının möhkəmlik və axıcılıq hədlərini paraqklamaya nisbətən 6-10% artırır. Tədqiq olunan bütün poladların plastiklik xarakteristikaları (δ, φ) paraqqlama ilə müqayisədə hamarlamadan sonra 5-12% azalır.

8. Aparılmış eksperimental sınaqlarla müəyyən edilmişdir ki, almazla hamarlama nəticəsində inşaat poladlarının zərbə özlülüyü, həmin poladların tablandırma və ortatemperaturlu tabəksiltmədən sonrakı zərbə özlülüyündən az deyil. Hətta bəzi hallarda hamarlanmış nümunələrin zərbə özlülüyü bir qədər (2-3%-ə qədər) çox olur. Sınaqlar göstərdi ki, almazla hamarlama çətin inkişafına müqavimətə ciddi dərəcədə təsir edir. Bu zaman dağılma özlülüyü tədqiq olunan poladlar üçün 25-45 % artır.

9. Yorulma möhkəmliyinə sınaqlar göstərdi ki, almazla hamarlama nəticəsində tədqiq olunan bütün poladların dözümlülük həddi xeyli artır. BCт3cп poladının dözümlülük həddi 245 MP_a -dan

314 MPa-ya, 10Г2С1 poladının dözümlülük həddi isə 300 MPa-dan 370 MPa-ya qədər artmışdır. Eksperimentlər nəticəsində gərginlik toplayıcıları şəraitində almazla hamarlanan effektivliyi müəyyən edilmişdir. Gərginlik toplayıcıları olan nümunələrin yorulma möhkəmliyi hamarlamadan sonra paradaqlanmış nümunələrlə müqayisədə 48-55% artır.

10. Eksperimental təcrübələrlə almazla hamarlanan müxtəlif aqressiv mühitlərdə işləyən poladlar üçün son emal əməliyyatı kimi effektiv olması müəyyən edilmişdir. Müxtəlif inşaat poladlarından hazırlanmış nümunələrin 6 ay müddətində təbii dəniz suyu mühitində aparılmış korroziya sınaqları göstərir ki, hamarlama paradaqlamaya nisbətən korroziyaya dayanıqlığı 8-11 % artırır.

11. Aparılmış tədqiqatlar sübut edir ki, 200.000 tsikl müddətində BCтЗсн, 10Г2С1, 15ХГ2СМФР və 12ГН2МФАО poladlarından olan paradaqlanmış nümunələrin yeyilməsi uyğun olaraq 88, 77, 62 və 59 *mq* olduğu halda, hamarlama ilə möhkəmləndirilmiş nümunələrin yeyilməsi uyğun olaraq 50, 44, 30, 40 *mq* təşkil etmişdir. Qeyd edək ki, almazla hamarlama yeyilmə davamlılığını uyuşma dövründə daha çox artırır. Bu zaman davamlılıq orta hesabla 3,5 dəfə yüksək alınır.

12. Qəbul edilmiş oymaq tipli pəstahın (50% dəmir ovuntusu-ПЖ2М3+50% çuqun ovuntusu) soyuq presləmədən sonra həcmində və səthində 15-18% məsaməlilik yaranır. Tabalma (800-850°C) nəticəsində pəstah plastikliyini tam bərpa edir və kürəciklə diyirləmədən sonra səthdə məsaməlilik təqribən 5% alınır. Almazla hamarlamadan sonra isə məsaməlilik 2%-dək aşağı düşür.

DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMI ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1. Гамзаева, Г.Р. О влиянии алмазного выглаживания на контактную выносливость // Conference International Trends In Science and Technology, -Варшава: -2017. Vol 1, -с.18.
2. Гамзаева, Г.Р., Асланов, Т.И. Влияние алмазного выглаживания на чувствительность к концентрации напряжений и на коррозионную стойкость // -Баку: Вестник АЗАУ, - 2017. №1, -с. 52–56.
3. Hənzəyeva, Q.R., Məmmədov, A.T., Aslanov, T.İ. Səthi-plastiki deformasiya üsulu ilə möhkəmləndirmənin tədqiqat metodikası // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin yaranmasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Elmi Konfransın materialları, - Bakı: - 2018, - s. 296-299.
4. Hənzəyeva, Q.R., Məmmədov, A.T. Aslanov, T.İ. Səthi-plastiki deformasiya parametrlərinin səthin bərkliyinə təsiri haqqında // AZTU Elmi Əsərləri, -Bakı: -2018. №3, -s. 27-32.
5. Hənzəyeva, Q.R., Aslanov, T.İ. Səthi-plastiki deformasiyanın inşaat poladının mexaniki xassələrinə təsiri haqqında // Tikinti istehsalatında texnoloji maşınların istifadəsinin müasir problemləri mövzusunda Elmi-Praktiki Konfrans, Bakı: -2019, -s. 22-25.
6. Hənzəyeva, Q.R., Qasımov, E.V. Vibrohamarlama və almazla hamarlamanın texnologiyasının əsasları // Ümumilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 97-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və magistrantların 42-ci Elmi Konfransının materialları, Bakı: -2020, -s.135-136.
7. Hənzəyeva, Q.R., Qasımov, E.V. Kürəciklə diyirləmənin inşaat poladının möhkəmlənməsinə təsiri // Ümumilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 97-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və magistrantların 42-ci Elmi Konfransının materialları, Bakı: -2020, -s.136-138.
8. Hənzəyeva, Q.R. Almazla hamarlama zamanı struktur-faza çevrilmələri // - Bakı: AzMİU Elmi əsərləri, -2022. №2, -s.92-96.

9. Həməzəyeva, Q.R., Səthi möhkəmləndirmə üsulu ilə inşaat poladlarının istismar xassələrinin artırılması // -Bakı: AzTU Elmi Əsərləri, -2022. №1, -s.27-32.
10. Гамзаева, Г.Р. Влияние подачи и числа проходов при алмазном выглаживании на шероховатость // - Дніпро: Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, -2022. №34, -с.16-22.
11. Həməzəyeva, Q.R., Aslanov, T.İ. Hissənin səthinin hamarlama ilə möhkəmləndirilməsi // İstehsalatda innovativ texnika və texnologiyaların tətbiqi perspektivləri, Elmi-texniki konfransın materialları, Bakı: 2023, -s.25-28.
12. Hamzayeva, G.R. Mechanical properties of structural steel after diamond burnishing // - Moskva: Russian Engineering Research, -2023. vol 43, №12, -pp.1531-1534.
13. Hamzayeva, G.R. Aslanov, T.İ. Impact of surface and plastic deformation to deterioration // Engineering Mechanics Scientific and Technical Journal, -Bakı: -2024. №1, -pp. 34-38.
14. Гамзаева, Г.Р. Остаточные напряжения при поверхностном пластическом деформировании // XII Международная Научно-Практическая Конференция. Science And Technologies. Сборник тезисов, -Алматы: -30 июня, -2024, -с.23-24.
15. Гамзаева, Г.Р. Разработка математической модели алмазного выглаживания рабочей поверхности деталей из строительных сталей //Международная научно-техническая конференция Современные машиностроительные системы, технологии и инновации – Воронеж: 06.03.2025. -ст.72-77.
16. Hamzayeva G.R., Aslanov, T.İ., Sultanova, K.İ. Influence of the number of passes on the surface quality of drilling rig chain components // Engineering Mechanics Scientific and Technical Journal, -Bakı: -2025. №4, -pp. 6-8.

Çap olunmuş işlərdə müəllifin şəxsi iştirakı

[1, 8, 9, 10, 11, 14, 15] sayılı işlər iddiaçı tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[3, 4] sayılı işlər müəlliflərin birgə müzakirəsi nəticəsində problemin nəzəri hissəsinin mənimsənilməsi məqsədilə elmi rəhbərin tövsiyəsi ilə yazılmışdır.

[2, 5, 6, 7, 12, 13, 16] sayılı işlərdə tədqiqat məsələlərinin qoyuluşu, nəzəri araşdırmalar, eksperimental tədqiqatların aparılması, nəticələrin işlənməsi, təkliflərin verilməsi müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. İşlərin qalan hissələri müəlliflər tərəfindən bərabər səviyyədə yerinə yetirilmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi **“29” sentyabr 2025-ci il** tarixində saat **12:00-da** Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.09 Dissertasiya Şurasının bazasında yaradılmış BFD 2.09 Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti 25, AzTU.

Dissertasiya ilə “Azərbaycan Texniki Universiteti” PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları “Azərbaycan Texniki Universiteti” PHŞ-nin rəsmi internet saytında (www.aztu.edu.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **“ 30 ” iyul 2025-ci il** tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.07.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm:39983

Tiraj: 100 nüsxə