

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

HİDROABRAZİV EMAL ÜSULU İLƏ MATERIALI ÇƏTİN EMAL OLUNAN DETALLARIN KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ

İxtisas: 3313.01 - “Maşınqayırma texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Samir Fariz oğlu Əmirli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Maşınqayırma texnologiyası” və Almanıyanın Brandenburg Texniki Universiteti Cottbus-Senftenberqin “Metalkəsən dəzgahlar “ kafedralarında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: 1. Əməkdar mühəndis,
texnika elmləri doktoru, professor
Nizami Dəmir oğlu Yusubov

2. AzTU-nun fəxri doktoru (Dr.h.c. (AzTU)),
texnika elmləri doktoru (Dr.-Ing. habil.),
professor
Sylvio Simon

Rəsmi oponentlər: texnika elmləri doktoru, professor
XXXXXXXX

texnika elmləri doktoru, professor
XXXXXXXX

texnika elmləri namizədi, dosent
XXXXXXXX

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının “Azərbaycan Texniki Universitetinin” nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.09/2 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

texnika elmləri doktoru, professor
Ələkbər Güləhməd oğlu Hüseynov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Füzuli Rəsul oğlu Rəsulov

Elmi seminarın sədri:

texnika elmləri doktoru, professor
Vaqif Zahid oğlu Mövlazadə

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi: Su axını ilə kəsmə əsas texnoloji qruplarda (Almaniya Standartlaşdırma İnstitutu) DIN - 8580-ə uyğun olaraq həndəsi qeyri-müəyyən kəsici tiyəsi olan kəsmə prosesləri qrupuna təsnif edilir.

Müasir maşınqayırma sənayesində müxtəlif avadanlıqların istehsalı zamanı tətbiq edilən detalların istehsalında yeyilməyə davamlı materiallardan geniş istifadə olunur. Yeyilməyə davamlı materiallardan xrom-nikellə legirlənmiş yeni nəsil poladları göstərmək olar. Bu sinifdən olan poladlardan biri HARDOX-500 markalı materialdır. HARDOX-500 markalı polad lövhələr qalınlığı 4,0-103 mm, eni 3350 mm və uzunluğu 14630 mm-ə qədər istehsal olunur. Hardox-500 poladını yükdaşıyan avtomobillərin gövdə detallarının, torpaq qazan maşınların kovuşlarının kəsici dişlərinin, gəmi gövdələrinin, eləcə də maşınqayırma sənayesinin digər sahələrində yeyilməyə qarşı davamlı hissələrin hazırlanmasında tətbiq etmək olar. Baxmayaraq ki, HARDOX-500 markalı polad əyilməyə, qaynaqlanmaya texnoloji baxımdan səmərəliliyi yüksəkdir, eləcə də yeyilməyə qarşı davamlıdır, lakin onun mexaniki emalı frezləmə, torna, burğulama, doqrama, pardaqlama və.s. üsullar ilə çətin olduğu üçün bu üsullarla detalların HARDOX-500 markalı polad materialından istehsalı mürəkkəb, yüksək maya dəyərinə malik texnoloji proseslərdir.

Göstərilən amilləri nəzərə alaraq HARDOX-500 markalı poladlardan maşın hissələrinin istehsalı zamanı yeni innovativ texnologiyalardan istifadə etməklə mexaniki emal prosesinin keyfiyyətini, məhsuldarlığını və iqtisadi səmərəliliyini artırmaq mümkün olur.

Maşın hissələrinin istehsal prosesində yeni mexaniki emal üsullarından biri kimi pəstahların hidroabrazivlə kəsmə üsulunu göstərmək olar. Müasir maşınqayırma müəsisələrində hidroabrazivlə metalların kəsilməsi, pəstahların doqranması, detalların kontur səthlərinin yüksək forma və dəqiqliklə istehsal olunması üçün rəqəmli proqramla idarə olunan (RPİ) xüsusi progressiv konstruksiyalı dəzgahlar yaradılmışdır. Hidroabraziv üsulla pəstahların qalınlığından asılı olaraq kəsmə prosesi su şırnağına abraziv dənələrinin müxtəlif

konsentrasiyasını əlavə etməklə 2000-3500 bar təzyiqlə yerinə yetirilir.

Hidroabrazivlə pəstahların kəsmə üsulunun digər mexaniki və istilik-fiziki üsullarından fərqli cəhəti ondan ibarətdir ki, bu prosesdə kəsmə əməliyyatı müxtəlif dənəvərlikli abraziv dənələrinin qarışığından ibarət olan yüksəksürətli və yüksəktəzyiqli su şırnağı vasitəsilə həyata keçirilir. Çətin mexaniki emal olunan xrom-nikel tərkibli poladların torna, frezləmə, burğulama və s. texnoloji üsullarında kəsmə prosesində yüksək istilik ayrıldığından kəsici alətlər çox qızır və sürətli yeyilməyə məruz qalır. Hidroabraziv emalda kəsmə əməliyyatı yüksək təzyiqlə verilən suya qarışdırılmış abrazivlə aparıldığı üçün pəstahın kəsilən səthində ciddi struktur çevrilmələri baş vermir. Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi prosesinin texnoloji giriş və çıxış parametrlərinin eksperimental və nəzəri tədqiqi sahəsində bir çox alimlərin, o cümlədən M.A. Tamarkin, E.A.Kosenko, A.V. Sarazov, A.A.Barzov, A.L. Qalinskii, Y.K. Yaqlitskiy, T.V. Ereşenko, N. A. Mixaylova, M. Kaufeld, F. Pude, M. Linde və s.-in elmi araşdırmaları vardır. Bu elmi əsərlər hidroabraziv emalın təkmilləşdirilməsi, kəsmənin məhsuldarlığının yüksəldilməsi sahəsinə həsr edilmişdir.

Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə pəstahların, o cümlədən xrom-nikel tərkibli poladların emalı mütərəqqi texnoloji proses olmasına baxmayaraq, bu əməliyyatın da bir sıra çatışmamazlıqları vardır. Məsələn, hidroabrazivlə polad pəstahların kəsilməsində onların qalınlığından asılı olaraq kəsilən səthin həndəsi profili, kəsilən üzün baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığının təmin olunması mürəkkəb texnoloji məsələlərdən biridir. Eləcə də hidroabrazivlə kəsmədə formalaşan səthlərin kələ-kötürlüyünün kontakt səthi üzrə qeyri-bərabər paylanması, emal olunmuş səthdə bərkliyin dəyişməsi və s. kimi problemlərin yaranması bir çox mənfi hallara gətirib çıxarır.

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların kəsilməsi prosesində formalaşan emal olunmuş səthin həndəsi forma xətlərinin, kələ-kötürlük və dalğavarilik meyillənmələrinin, materialın texnoloji əməliyyat zamanı bərkliyinin və s. amillərin kəsmə rejimindən asılı olaraq, eləcə də su şırnağının abraziv kontakt zonasına verilmə sxemindən asılı olaraq tədqiqi məsələləri geniş öyrənilməmişdir. Hidroabrazivlə HARDOX-

500 markalı poladın hidroabraziv kəsmə prosesində rəşional texnoloji rejimlərin riyazi modelinin işlənməsi, müvafiq texnoloji parametrlərin dəyişməsində empirik əmsalların təyin olunması kifayət qədər öz həllini tapmamışdır. HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində uzununa verişin, su şırnağı ilə abrazivin axma sürətinin, abraziv dənələrinin konsentrasiyasının və dənəvərliyinin emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələri ilə qarşılıqlı təsirinə öyrənilməsi maşınqayırmanın aktual problemləri olmaqla yanaşı təqdim edilən dissertasiyanın mövzudur.

Tədqiqat obyektı və predmeti: HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladından hazırlanan mürəkkəb profilli detalların hidroabrazivlə emal prosesidir. Hidroabrazivlə kəsmədə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın müxtəlif qalınlıqlı pəstahların kəsilməsi zaman səthin həndəsi forma və xətlərinin, kələ-kötürlüyün, dalğavarılığın, bərkliyin dəyişmə qanunauyğunluqlarının araşdırılması və yeni hidroabraziv kəsmə texnologiyasının işlənilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Dissertasiya işinin məqsədi HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladdan hazırlanan detalların hidroabraziv emal üsulu ilə kəsilməsində yaranan səthin fiziki-mexaniki xassələrinin dəyişməsinin, kələ-kötürlüyünün, dalğavarılığının, bərkliyin və detalın həndəsi ölçülərinin formalaşmasının nəzəri və eksperimental tədqiqıdır.

Göstərilən problemlərin həll olunması aşağıdakı məsələlərin öyrənilməsinə tələb edir:

1. Xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində yonqar-əmələgəlmənin xüsusiyyətlərinin nəzəri tədqiqı.

2. HARDOX-500 markalı poladlardan detal istehsalında yaranan səthin kələ-kötürlüyünün orta və maksimal qiymətinin texnoloji rejim parametrlərindən asılığının araşdırılması.

3. Hidroabrazivlə xrom-nikelli poladların kəsilməsində dalğavarılığın yaranma mexanizminin texnoloji amillərdən asılığının tədqiqı.

4. HARDOX-500 markalı poladın hidroabrazivlə kəsilməsində səthin bərkliyinin texnoloji parametrlərdən aslı olaraq dəyişməsi mexanizminin nəzəri və eksperimental təhlilinin işlənilməsi.

5. Hidroabraziv HARDOX-500 markalı poladdan detal istehsalının texnoloji rejim parametrlərinin və kəsmə sxeminin təkmilləşdirilməsi (optimallaşdırılması).

Tədqiqatın metodları: Hidroabraziv emalı üçün yaradılmış rəqəmli proqram təminatı ilə təchiz olunmuş FLOW-GUT modelli dəzgahda (Almaniyanın Brandenburg Texniki Universitetinin Metalkəsən dəzgahlar kafedrasının laboratoriyasında) HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladdan detal istehsalına əsaslanmışdır.

Tədqiqatlar maşınqayırma texnologiyası, metalların sərbəst hidroabrazivlə kəsmə nəzəriyyəsi, hidro-dinamik qanunların tətbiqi, riyazi statistika və nisbilik nəzəriyyəsi, abraziv qarışıqlı su şırnağı ilə kəsmədə yaranan sürtünmə və yeyilmə proseslərinin əsasları bazasında aparılmışdır.

Eksperimental məlumatların emalı nəticələrini Styudent kriteriyası, Fişer və Koxren kriteriyası üzrə qiymətləndirməklə riyazi statistika metodları ilə həyata keçirilmişdir.

Eksperiment nəticələrinin emalı M-EXEL-2016 təminat proqramının köməyi və tədqiqatın çoxfaktorlu planlaşdırma metodu vasitəsilə yerinə yetirilmişdir

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladın kəsilməsində kəsmə sxemindən asılı olaraq yonqarəmələgəlmənin nəzəri məsələləri.
2. HARDOX-500 poladının fiziki-mexaniki xassələrindən irəli gələn hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsində kələ-kötürlüyün, dalğavariliyin pəstahın qalınlığından aslı olaraq formalaşmasının əsasları.
3. Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladın kəsilməsində səthin fiziki-mexaniki xassələrinin (bərkliyin) texnoloji rejim parametrlərindən aslı olaraq dəyişməsinin riyazi qanunauyğunluğu.
4. Hidroabrazivlə kəsmədə kəsilən səthin həndəsi formasının dəqiqliyini yüksəltmək üçün yeni hidroabraziv kəsmə sxeminin işlənməsi.
5. Hidroabraziv kəsmədə kontakt üzünün formalaşmasından irəli gələn yeni texnoloji kəsmə prosesi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Hidroabrazivlə materialların su abraziv qarışığının emal səthinə verilməsi sxemindən asılı olaraq kəsmədə abrazivlərin yaratdığı inersiya qüvvələri cəminin riyazi tənliyi işlənilmişdir.

2. Nəzəri və eksperimentlərin sərbəst abrazivlə kəsilməsində yaranan kəsmə qüvvələrinin (P_z , P_y , P_x) rejim parametrlərindən, abraziv və emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələrindən asılı olaraq empirik tənlikləri tapılmış, bu xüsusiyyətləri nəzərə alaraq yonqar əmələgəlmə prosesinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

3. HARDOX-500 markalı poladın kəsilməsində emal olunan pəstahın kəsilmiş səthində kələ-kötürlüyün, emal dəqiqliyinin paylanması kəsmə rejimlərindən asılı olaraq qanunauyğunluğu müəyyən edilmişdir.

4. Maşın hissələrinin HARDOX-500 markalı poladdan hazırlanmasında pəstahın hidroabrazivlə kəsilməsi zamanı emal olunmuş səthdə materialın bərkliyinin dəyişməsi mexanizmi müəyyənləşdirilmişdir. Məlum olunmuşdur ki, göstərilən texnoloji proses bərkliyi 10-15% artırır ki, bu da detalın səthinin yeyilməyə davamlılığını yüksəldir.

5. Pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində onun qalınlığından asılı olaraq kəsilmiş səthin maillik bucağı müəyyən edilmiş, yəni kəsilmiş səthin yerləşdirmə baza səthinə nəzərən mailliyinin mexanizmi təyin olunmuşdur.

6. HARDOX-500 markalı poladlardan hidroabrazivlə detal istehsalında kəsilən səthin yerləşdirmə baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni texnoloji kəsmə sxemi verilmişdir. Bu sxem Azərbaycan Respublikasının Müdafiə Sənayesi Nazirliyi “İqlim EİM” MMC-də sınaqdan keçmiş və nəticədə, kəsilmiş səthin yerləşdirmə baza səthinə nəzərən dəqiqliyi yüksəlmişdir.

7. HARDOX-500 markalı poladın hidroabrazivlə kəsilmə rejimlərinin materialın fiziki-mexaniki xassələrindən asılı olaraq optimal parametrləri işlənmişdir.

8 FLOW-Gut RPI dəzgahında hava itkisinin qarşısının alınması üçün su şırnağının təzyiqini tənzimləyən halqanın yeni konstruksiyası layihələndirilmiş və istehsal olunaraq yeni texnoloji prosesdə tətbiq edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti: Yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəzəri əhəmiyyəti xrom-nikelli poladdan mürəkkəb profilli səthlərin hidroabraziv emalında yonqqarəmələgəlmə probleminin nəzəri araşdırılması, kəsilən səthdə kələ-kötürlüyün, dalğavariliyin, bərkliyin və həndəsi ölçü xətlərinin riyazi modellərinin, eləcə də yeni hidroabraziv kəsmə texnologiyasının sxem və rejimlərinin işlənməsidir.

HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladdan mürəkkəb profilli detalların hidroabrazivlə kəsilməsində emal olunan pəstahın qalınlığından asılı olaraq kələ-kötürlüyün, dalğavariliyin, bərkliyin formalaşmasının riyazi alqoritmlərinin asılılıqları işlənilmişdir.

Kəsmədə en kəsiyin həndəsi ölçü dəqiqliyini yüksəltmək üçün yeni hidroabraziv emal texnologiyasının sxem və nəzəriyyəsi işlənilmişdir.

HARDOX-500 markalı poladın kəsilməsində emal səthinin keyfiyyət parametrlərini təmin edən texnoloji rejimin dəyişmə hədləri müəyyən edilmişdir.

Dissertasiyada alınmış nəticələr “İqlim EİM” MMC-də sınaqdan keçirilmiş və 40000 AZN dəyərində şərti iqtisadi səmərə əldə edilmişdir.

İşin nəşri, aprobasiyası və tətbiqi: Dissertasiya işinin əsas müddəaları respublika və beynəlxalq səviyyəli konfranslar, simpozium və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

1. “Maşınqayırma və energetika: yeni konsepsiyalar və texnologiyalar” mövzusunda II beynəlxalq elmi-praktik konfransı, 4-5 dekabr 2023-cü il, Bakı, Azərbaycan Texniki Universiteti (AzTU).
2. “Enerji və resurs qənaət edən texnologiyalar: təcrübə və perspektivlər” mövzusunda VI beynəlxalq elmi-praktiki konfransı, 18 aprel 2024-cü il, Qızılorda: Korkit Ata Dövlət Universiteti.
3. “Pilotsuz Sistemlər: Süni İntellekt, Layihələndirmə və səmərəlilik” (ISUDEF'24) Beynəlxalq Simpoziumu, 22-24 may 2024-cü il, Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı.
4. Elmi mühitdə peşəkar ünsiyyət - tədqiqatın keyfiyyətini təmin edən amil: XIII Ümumrusiya Elmi-Praktik Konfransı, 16 aprel 2024-cü il, Almetyevsk, Kazan Milli Tədqiqat Texniki Universitetinin Almetyevsk filialı. A.N. Tupolev - KAI.

5. “Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar” mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransı, 1-2 may 2024-cü il, Bakı, AzTU.
6. “Maşınlar nəzəriyyəsinin müasir problemləri” XII Beynəlxalq elmi-praktik konfransı. 31 may 2024-cü il, Sankt-Peterburq.
7. VI Beynəlxalq Türk Dünyası Elm və Mühəndislik Konqresi. 19-21 dekabr 2024-cü il. Bakı, AzTU.
8. İnformasiya Texnologiyaları, Robototexnika, Dizayn, Mühəndislik və Tətbiqi Elmdə Yaranan Trendlər üzrə VI Beynəlxalq konfrans (ETITR-AUG-2024) 26-27 avqust 2024-cü il. Amsterdam, Hollandiya.
9. “İnfokommunikasiya sistemləri və süni intellekt texnologiyaları” II beynəlxalq elmi-texniki konfransı, 4-5 dekabr, Bakı, AzTU.

Dissertasiya işində təqdim olunan materiallar hidroabraziv kəsmədə nəzəri və praktiki tədqiqatlarla müəyyən olunmuş rejim parametrləri və yeni texnoloji üsullar müxtəlif konfigurasiyalı detalların istehsalında tətbiq olunur.

Dissertasiya işi üzrə 15 elmi əsər, o cümlədən 9 məqalə və 6 konfrans məruzələrinin tezisləri və materialları çap edilmişdir. 7 məqalə Ali Attestasiya Komissiyasının tövsiyə etdiyi beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə (bazalarına) daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə, respublika və ya beynəlxalq miqyaslı elmi tədbirlərin nəticələri üzrə dərc olunmuş 6 əsərdən 3-ü xaricdə dərc olunmuşdur. 6 iş respublika daxilində, 9 iş isə xaricdə nəşr edilmişdir.

Dissertasiya işində təqdim olunmuş materiallar Azərbaycan Texniki Universitetində bakalavriat səviyyəsində 050622-“Maşın mühəndisliyi” ixtisası üzrə “Maşınqayırmada texnoloji proseslərin layihələndirilməsi” və magistratura səviyyəsində 050622-“Maşın mühəndisliyi” ixtisası üzrə “Tədqiqat üsulları” fənlərinin tədrisində istifadə edilməsi tövsiyə edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Maşınqayırma texnologiyası” və Almanıyanın Brandenburq Texniki Universiteti Cottbus-Senftenberqin “Metalkəsən dəzgahlar” kafedralarında yerinə yetirilmişdir.

Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiyada iddiaçı tədqiqat işlərinin aktuallığını əsaslandırıb, onlara nail olmaq üçün müvafiq məsələlər göstərmiş, tədqiqatların aparılma ardıcılığını müəyyən etmiş və onların icrasını yerinə yetirmişdir. Nəzəri alınmış modellərin komputer modelləşdirilməsi və eksperimentlərin çoxfaktorlu matrisa əsasında planlaşdırılmasını müstəqil olaraq həll etmiş, sistemləşdirilmiş, təcrübə tədqiqatların nəticələrinin analizini vermiş, elmi konfranslarda aparılan müzakirələrdə iştirak etmiş və elmi məqalələri müstəqil tərtib etmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, 172 səhifəlik komputer mətni, 51 şəkil, 20 qrafik, 43 cədvəl, 145 ədəbiyyat siyahısı, əlavələr və ixtisarlardan ibarətdir. Dissertasiya işinin strukturunu üz qabığı və mündəricat (5457 işarə), giriş (13385 işarə), I fəsil (54301 işarə), II fəsil (26698 işarə), III fəsil (27500 işarə), IV fəsil (82560 işarə), nəticə (5899 işarə), istifadə edilmiş ədəbiyyat (145), dissertasiya işinin ədəbiyyat siyahısı (25198 işarə), əlavələr və ixtisarlardan və şərti işarələrinin siyahısı (13369 işarə) təşkil edir. Dissertasiyanın həcmi şəkillər, cədvəllər, qrafiklər və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 254626 işarədən ibarətdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

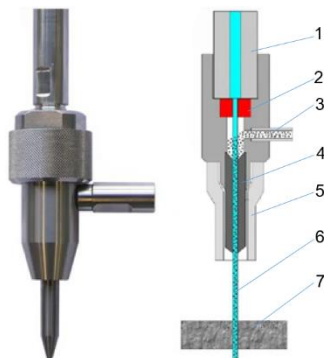
Disertasiya işinin girişində mövzunun aktuallığının əsaslandırılması, tədqiqatın məqsəd və vəzifələrinin dürüst ifadəsi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəaları verilmişdir.

Birinci fəsildə hidroabraziv emal üsulunun tədqiqinə həsr edilmiş elmi araşdırmaların ədəbiyyat analizi yerinə yetirilmişdir. Maşınqayırma sənayesinin müxtəlif sahələrində, o cümlədən avtomobil, təyyarə, gəmiqayırma və digər istehsalat proseslərində detalların istehsal texnoloji prosesləri zamanı bir sıra mexaniki emal üsulları ilə yanaşı hidroabraziv emal texnoloji əməliyyatlarının da geniş istifadə edildiyi vurğulanmışdır. Hidroabrazivlə materialların, metalların kəsilməsi prosesinin fiziki mahiyyəti digər mexaniki emal üsulları ilə, məsələn

torna, paradaqlama, frezləmə, burgulama, dartma və s. əməliyyatlarla eyni olmasına baxmayaraq (yəni pəstahın səthindən metal qatının kəsiləcək detal istehsalı eyni prinsip əsasında aparılır), hidroabraziv emal üsulunun prinsipial texnoloji fərqlərinin olduğu qeyd edilmişdir.

Hidroabrazivlə metalların kəsilməsində çıxarılan emal payı, yonqarəmələgəlmə prosesi yüksək təzyiqlə kəsmə zonasına verilən su şırnağına qarışdırılmış abraziv dənələri vasitəsilə aparılır. Hidroabraziv emalın aparılması xüsusi dəzgahlarda yerinə yetirilir ki, bu dəzgahlar kinematik, konstruktiv xüsusiyyətlərinə görə digər metalkəsən dəzgahlardan fərqlənir.

Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi aşağıda verilmiş sxem əsasında (şəkil 1.) icra olunur¹.



Şəkil 1. Hidroabrazivlə kəsmə sxemi

1-su konteyneri (təzyiq 4000 bara qədər); 2-müştük; 3-abraziv dənələrinin verilmə sahəsi; 4-suyun və abrazivin qarışma kamerası; 5-qarışdırıcı boru; 6-hidroabraziv kəsmə şırnağı, 7-kəsilən material

¹Нозирзода, Ш.С. Перспективы развития гидроабразивной обработки// VIII Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике», – Тула: – 2019. –с. 339-341.

Analizin nəticələri göstərir ki, hidroabrazivlə metalların kəsmə prosesi zamanı abraziv dənələri yüksək təzyiqli su şırnağı ilə qarışdırılaraq emal olunan səthdə erroziya prosesi yaradaraq yonqar əmələ gətirir və su şırnağı vasitəsilə kəsmə zonasından onları yuyaraq kənarlaşdırır.

Aparılmış araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, müasir dövrə qalınlığı 300 mm-ə qədər təbəqə polad materiallardan maşın

hissələrini istehsal edərkən hidroabraziv kəsmə dəzgahları maşınqayırma sənayesinin müxtəlif sahələrində müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur.

Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarını xrom-nikelli polad pəstahlardan detal istehsalında tətbiq etmək üçün götürülmüş materialın hidroabraziv emalında səthin kələ-kötürlüyünün, ölçü dəqiqliyinin, kəsilmiş səthdə bərkliyin dəyişməsinin və digər məsələlərin tədqiqi maşınqayırmanın aktual problemlərindən biridir. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladlardan maşın hissələrinin hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında emal texnoloji rejimləri geniş tədqiq olunmadığı üçün bu sahə üzrə tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsinin zəruriliyi hidroabraziv kəsmə üsulunun belə detalların istehsalında geniş tətbiq edilməsinə ehtiyac olduğu qeyd edilmişdir.

Aparılan tədqiqatların nəzəri və praktiki nəticələri göstərir ki, hidroabraziv emal üsulunun maşın hissələrinin istehsalında texnoloji rejim parametrlərinin riyazi modelləşdirilməsinin ümumiləşdirilmiş yanaşması verilməmişdir.

Birinci fəsildə araşdırılma nəticələrinə əsasən dissertasiya işinin aktuallığı, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri əsaslandırılmışdır.

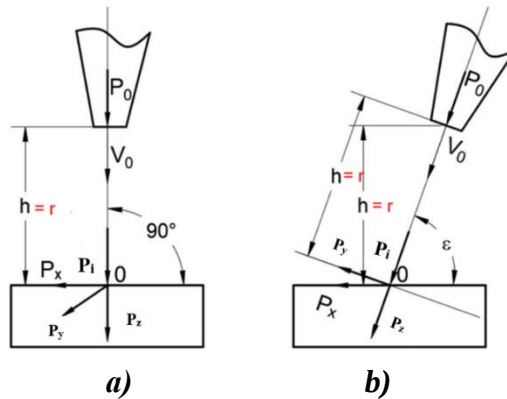
İkinci fəsil xrom-nikell tərkibli HARDOX-500 markalı poladın hidroabrazivlə emalında yonqar əmələ gəlmə prosesinin nəzəri araşdırılması rejim parametrlərinin optimal variantlarının seçilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyi, hidroabraziv kəsmədə kontakt zonasında kəsilən materialdan yonqarın əmələ gəlib ayrılması bir çox amillərdən, yəni emal olunan pəstahın və abraziv dənələrinin fiziki-mexaniki xassələrindən, su şırnağı ilə abraziv dənələrinin sürətindən, uzununa veriş sürətindən, su şırnağının metalın emal səthinə düşmə bucağından asılılığı göstərilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, hidroabraziv emalda yonqar əmələgəlmə mexanizminin, onun texnoloji parametrlərdən asılılığının öyrənilməsi üçün prosesin dinamik göstəricilərinin nəzəri hesablamalarını işləmək, onun əsasında su şırnağının təzyiqini təyin etmək, abraziv dənələrinin kontakt səthinə düşən inersiya (ətalət) təzyiqini, hər bir abraziv dənəsinin yonqar əmələgəlmədə yaratdığı kəsmə qüvvəsinin asılılıqlarını müəyyən etmək lazımdır.

Materialların, o cümlədən poladların hidroabrazivlə kəsilməsində yaranan yonqarların pəstahın səthindən ayrılması və nəql olunması

kontakt zonasına yüksək təzyiq və sürətlə vurulan abraziv dənələr ilə qatışdırılmış su şırnağı vasitəsi ilə icra olunur.

Su abraziv qarışığının pəstahın səthinə verilməsi sxemindən asılı olaraq kontakt zonasında yaranan təzyiq qüvvələri müxtəlif olduğu üçün maşın hissələrinin istehsal texnoloji prosesində müxtəlif fiziki proseslərin getməsinə səbəb olur.

Sonra isə su-abraziv qarışığının pəstahın səthinə verilmə sxemləri və bu sxemlərdən asılı olaraq su şırnağının ümumi və inersiya (ətalət) təzyiq qüvvələrinin hesabı verilməmişdir. Şəkil 2-də hidroabraziv emalda su-abraziv şırnağının emal səthinə verilməsi sxeminin iki üsulu göstərilmişdir.



Şəkil 2. Təzyiq qüvvəsinin müxtəlif kəsmə sxemlərində hesablanması sxemləri

a)-su şırnağının səthə perpendikulyar verilmə sxemi;

b)-su şırnağının səthə bucaq altında (maili) verilməsi

Hidroabrazivlə emal texnoloji prosesinin araşdırılması göstərir ki, bu üsulda kəsici alət rolu oynayan su şırnağı ilə abraziv qarışığının kəsmə zonasına verilməsi mərkəzləşdirilmiş sərbəst verişlə trubolent xarakterli mayenin ilkin olaraq müştükdən düzxətli axınla emal səthinə yönəltməklə həyata keçirilir. Su şırnağı abrazivlə yüksək təzyiqlə emal olunan səthin “O”-nöqtəsinə zərbə endirir. Bu halda “O”-

nöqtəsində su şırnağının abrazivlə birlikdə zərbələrindən yaranan təzyiqi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P = P_o + P_i (\Pi a), \quad (1)$$

burada

P -su şırnağının ümumi təzyiqi (“O”-nöqtəsində);

P_o - müştüyün çıxışında su şırnağının təzyiqi;

P_i - “O”-nöqtəsində kəsmə səthində zərbdən yaranan inersiya qüvvəsidir.

Su şırnağının trayektoriyasının kəsmə zonasına verilməsinin dəyişməsi nəzəriyyəsinə əsaslanaraq inersiya təzyiqində yaranan qüvvəni P_i zamandan asılı (dt) olaraq aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P_i dt = mQdt \cdot v_o, \quad (2)$$

burada

m -su şırnağı ilə nəql olunan abraziv dənələrinin çəkisi, qr/san ;

Q - suyun sərfiyyatı, l/s ;

v_o - su şırnağı ilə abrazivin axma sürətidir, m/s .

(2) tənliyində $mQdt \cdot v_o$ -su şırnağının hərəkətinin dəyişmə cəmidir.

Su şırnağının cəm hərəkət tənliyini həll edərək inersiya qüvvəsini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P_i = mQ \cdot \vartheta_o = \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r}, \quad (3)$$

burada

Z - bir saniyədə emal səthinə zərbə endirən abraziv dənələrinin sayı;

m_z - abraziv dənələrinin su ilə orta çəkisi, kq ;

ϑ_o - abraziv dənələrinin emal səthinə orta düşmə sürəti, m/s ;

r - abraziv dənələrinin səthə düşmə radiusu, yəni müştüyün çıxışından emal olunan səthə qədər məsafədir, m .

Su şırnağı ilə abraziv dənələri qarışığının hidrodinamik analizi göstərir ki, emal səthində yaranan təzyiq qüvvəsi P_0 - dan $Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2/r$ qədər çox olur, yəni

$$P = P_0 + P_i = P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r}, \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \right) (\text{Па}) \quad (4)$$

(4) düsturu hidroabraziv kəsmə üsulunun şəkil 2. a-da verilmiş sxemini ifadə edir. Yəni, su şırnağının emal səthinə perpendikulyar istiqamətdə təsiri sxeminə aid olur. Əgər su şırnağı emal olunan səthə “ε” bucağı altında verilsə, onda yaranan inersiya qüvvəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$P_i = mQ\vartheta_o \cdot tg\varepsilon$$

və yaxud

$$P_i = \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r} \cdot tg\varepsilon. \quad (5)$$

Beləliklə, şəkil 2. b sxemində pəstahın səthinin “O”-nöqtəsində yaranan ümumi təzyiq aşağıdakı kimi ifadə olunacaq:

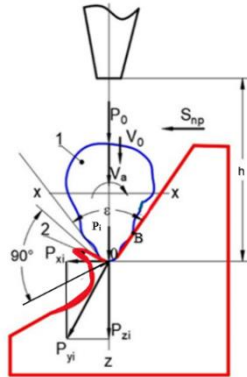
$$P = P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r} tg\varepsilon. \quad (6)$$

Hidroabraziv emal prosesinin araşdırılması göstərir ki, müxtəlif kəsmə sxemlərində yonqar əmələ gəlmədə yaranan ümumi təzyiq fərqli olduğundan kontakt zonasından su şırnağının nəql etdiyi yonqarın çıxma istiqamətində dəyişikliklər yaranır. Nəzəri tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, yonqarın ayrı-ayrı elementlərinin formalaşmasında abraziv dənələrinin iti tiyələrinin forma və ölçüsündən asılı olaraq müxtəlif şəkildə metala batır və nəticədə, P_0, P_i təzyiqlərinin yonqar əmələgəlmə formasına təsiri fərqli olur.

Nəzəri və praktiki tədqiqatlar göstərir ki, kəsilən metala batan abraziv dənələrinin tiyəsinin formasından, hər bir tiyənin itilik bucağından asılı olaraq kəsici dənələrin metala girməsi bucaqları da dəyişir. Məlum olmuşdur ki, abraziv dənəsi kəsilən metala zərbə ilə girdikdə toxunan nöqtədə onun mərkəzi oxu ε_1 bucağı altında dönür.

Dönmə bucağının qiyməti abraziv dənəsinin formasından çox asılı olur.

Şəkil 3-də abraziv dənəsinin kontakt zonasında metala batma sxemi verilmişdir.



Şəkil 3. Abrazivi dənələrinin metala batma sxemi.

1 — abraziv dənəsi; 2 — yonqar

Təcrübələrdə abraziv materialı olaraq qranit qumundan istifadə olunmuşdur. Qranit qumu təbii olmaqla yanaşı yüksək bərkliyə və süni abrazivlərə nisbətən aşağı maya dəyərinə malikdir. Qranit qumu dənələrinin bərkliyi 7,5÷8,0 Mosa bərabər olub dəqiq formaya malik iti ucludurlar. Təctübələrin aparılmasında tətbiq edilən abraziv dənələrinin həndəsi forma və ölçüləri Nikon SMZ-10A markalı mikroskop vasitəsilə ətraflı öyrənilmişdir.

Şəkil 3-dən görünür ki, materialların hidroabrazivlə kəsilməsində ümumi təzyiq və inersiya (ətalət) qüvvələri öz toplananlarına bölünərək kəsmədə P_{zi} , P_{yi} və P_{xi} təşkiledici kəsmə qüvvələrini yaradır.

Burada P_{zi} -tangensial kəsmə qüvvəsi, P_{yi} -normal kəsmə qüvvəsi, P_{xi} - oxboyu kəsmə qüvvəsi olub XYZ koordinat sistemində hər bir abraziv dənələrinin yaratdığı qüvvələrdir. Əgər nəzərə alsaq ki, su şırnağının P_0 verilmə təzyiqi təsirindən abraziv dənələri su ilə qarışaraq kəsmə zonasına v_0 sürəti ilə verilir, bu halda emal səthinə zərbələrlə düşən və yonqar əmələ gəlmədə iştirak edən zərrəciklərin

sayı abraziv materialının su qarışığındakı konsentrasiyasından da asılıdır. Bunu nəzərə alaraq kəsmə qüvvələrinin P_z , P_y və P_x təşkiledicilərini aşağıdakı asılılıqdan tapmaq olar:

$$\begin{aligned} P_z &= \sum P_{zi} = Z \cdot P_{zi} ; \\ P_y &= \sum P_{yi} = Z \cdot P_{yi} ; \\ P_x &= \sum P_{xi} = Z \cdot P_{xi} , \end{aligned} \quad (7)$$

burada

Z - kəsmə prosesində yonqar əmələgətirən abraziv dənələrinin sayı;

P_{zi} , P_{yi} , P_{xi} - abrazivin kəsmədə yaratdığı müvafiq olaraq tangensial, normal və oxboyu təşkiledici kəsmə qüvvələridir.

Bir abraziv dənəsinin yaratdığı kəsmə qüvvələri təşkiledicilərinin tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$P_{zi,yi,xi} = (P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r}) \cdot S ; \quad (8)$$

burada

S -kəsilən qatın sahəsidir, m^2 .

Hidroabraziv kəsmədə rejim parametrlərini nəzərə alaraq bir abraziv dənəsinin yaratdığı kəsmə qüvvələrinin təşkiledicilərini aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$\begin{aligned} P_{zi} &= C_{pz} \cdot Q_{pz}^{x_z} S_{n_p}^{y_z} t^{z_z} ; \\ P_{yi} &= C_{py} \cdot Q_{py}^{x_y} S_{n_p}^{y_y} \cdot t^{z_y} ; \\ P_{xi} &= C_{px} Q_{px}^{x_x} S_{n_p}^{y_x} \cdot t^{z_x} . \end{aligned} \quad (9)$$

burada

C_{pz} , C_{py} və C_{px} - kəsmə şəraitini, emal olunan materialın

fiziki- mexaniki xassələrini nəzərə alan əmsallar;

Q_p – su şırnağının abraziv dənələrlə birlikdə 1 dəqiqəlik sərfiyyatı;

S_{np} - müştüyün (və yaxud pəstahın) uzununa veriş $m/dəq$;

t - kəsmə dərinliyi (kəsmədə əmələ gələn qanovun eni);

x, y, z -hədlərin qüvvət qiymətləridir.

Bu fəsildə çətin emal olunan HARDOX-500 materialının rejim parametrlərinin optimallaşdırılması məsələlərinə baxılmış, eləcədə sistemli yanaşma ilə hidroabraziv emalında optimallaşdırma alqoritmləri qurulmuş və tədqiq olunmuşdur.

Üçüncü fəsildə HARDOX-500 markalı poladın hidroabraziv emalla tədqiqat üsulunun metodikası işlənilmişdir.

Eksperimental təcrübələr Azərbaycan Texniki Universitetinin “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrsında və Almaniya Federativ Respublikasının Brandenburg Texniki Universiteti Cottbus-Senftenberqin “Metalkəsən dəzgahlar” kafedrasının laboratoriyasında yerləşən rəqəmli proqramla idarə edilən (RPİ) FLOW-Gut modeli hidroabraziv kəsmə dəzgahında aparılmışdır.

Bu fəsildə hidroabraziv kəsmə üsulunda rejim parametrlərinin (giriş parametrlərin) qiymətindən asılı olaraq emal prosesində kəsilən səthdə formalaşan kələ-kötürlüyü, forma xətarlarını, bərkliyi və digər amillərin (çıxış parametrlərin) qiymətlərini öyrənmək üçün eksperimentlərin planlaşdırılmasına böyük əhəmiyyəti verilmişdir. Eksperimentlərin planlaşdırılmasında giriş parametrlərinə qoyulan tələblər və onlardan asılı olaraq təcrübənin çoxfaktorlu həlli öyrənilmişdir.

Hidroabraziv kəsmə üsulunda giriş parametrləri olaraq su şırnağının təzyiqi (P , MPa), abraziv dənələrinin bərkliyi (T), su şırnağının sərfiyyatı (Q, q_z), veriş hərəkətinin sürəti (S_{uz}), emal olunan pəstahın qalınlığı (b , mm), axtarılan çıxış parametrləri isə səthin kələ-kötürlüyü (R_a, R_z , mkm), ölçü xətarları (Δ , mkm), bərklik (H_μ MPa) və digər amillərin öyrənililməsidir. Təcrübələrin planlaşdırılması tam faktorlu 2^3 tipində olan matrisaların planlaşdırılması ilə aparılmışdır. Təcrübələr aparıldıqdan sonra nəticələrin statistik hesablanması həyata keçirilmiş, amillərin orta kvadratik meyillənmələrinin dispersiyasının, yəni orta kvadratik hesablamaların eyniliyini yoxlamaq üçün Koxreyn

meyarından istifadə edilmiş, alınmış nəticələr müvafiq cədvəllərə əsasən adekvat olduğu müəyyən edilmişdir.

Faktorların natural və ölçüsüz qiymətlərinə əsasən reqresiya əmsalları hesablanmış və bunun əsasında üç faktorlu eksperimentin vasitəsilə səthin R_a kələ-kötürlüyü üçün aşağıdakı riyazi asılılıq müəyyən edilmişdir.

$$R_a = -0,01 + 0,016P + 0,017Q + 0,102S_{uz} - 0,000038PQ - 0,00042PS_{uz} - 0,000339QS_{uz} + 0,000001PQS_{uz} \quad (11)$$

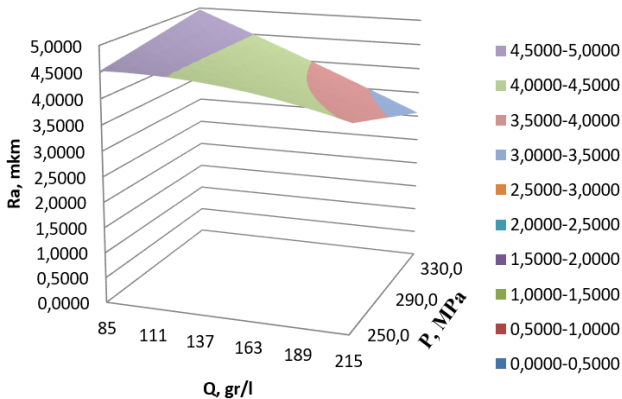
(11)-ci tənlikdən göründüyü kimi uzununa verişin qiyməti kələ-kötürlüyə daha çox təsir göstərən amildir, çünki onun əmsalı 0,102-ə bərabər olub digər amillərin əmsallarından çoxdur. Digər amillərin də təsiri (11) tənlikdən müvafiq qaydada görünür. Məsələn, su şırnağının sərfiyyatı (Q , q_z), uzununa verişin amilindən sonra kələ-kötürlüyə daha çox təsir göstərən amildir. Digər tərəfdən su şırnağının təzyiqi (P , MPa) və PQS_{uz} hasili kələ-kötürlüyə müsbət təsir göstərir və bu amillərin artması kələ-kötürlüyü artırır. Və yaxud PQ , PS_{uz} , QS_{uz} cüt amilləri kələ-kötürlüyə mənfi təsir göstərir və amillərin artması kələ-kötürlüyü azaldır.

Exsel proqramının tətbiqi ilə R_a -nın massiv üzrə verişdən asılı olaraq dəyişməsi qrafik 1-də verilmişdir.

Eləcə də hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı poladın kəsilməsində yaranan bərkliyin götürülmüş amillərdən asılılığı aşağıdakı reqresiya tənliyi ilə ifadə olunmuşdur:

$$H\mu = 495,9440266 - 0,169021328 * P - 0,177969924 * Q + 1,430359217 * S + 0,001356 * P * Q + 0,003406 * P * S + 0,0022 * Q * S - 0,000008 * P * Q * S. \quad (12)$$

Ra üçün massiv üzrə səth



Qrafik 1. R_a –nın massiv üzrə verişdən asılı olaraq dəyişməsi

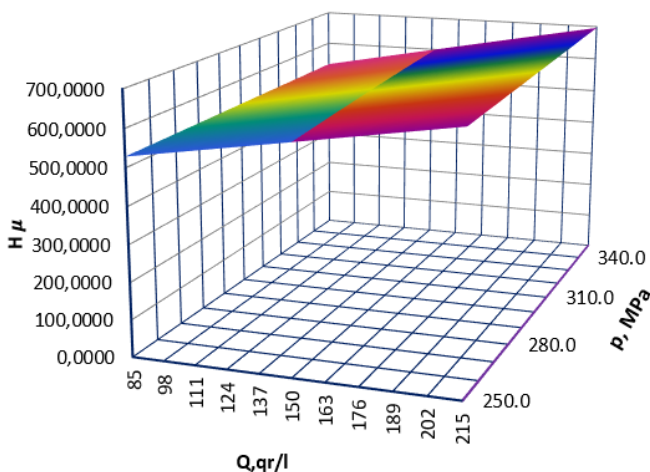
Bu fəsildə eləcə də hidroabraziv kəsmədə səthin kələ-kötürlüyü, forma xətləri və bərkliyin tədqiqat metodları və cihazlar verilmişdir.

Tədqiqat metodikasına əsasən hidroabraziv kəsmədə pəstahın hündürlüyü üzrə üç müxtəlif səthlərdə fərqli rejim parametrlərində alınan kələ-kötürlüyün qiymətləri tədqiq olunmuşdur.

Bərkliyin tədqiqi HECKERT modeli bərklik ölçən cihaz vasitəsilə öyrənilmişdir. Cihaz proqram təminatına əsaslanaraq bərkliyi ölçür, alınmış nəticələri avtomatik olaraq cədvəl və qrafiklər şəklində tərtib edir.

Exsel proqramının tətbiqi ilə $H\mu$ -nın amillərdən asılı olaraq riyazi asılılığının nəzəri hesablatları nəticəsində verişin dəyişməsinə alınan qiymətlər qrafik 2-də verilmişdir.

Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahı müxtəlif kəsmə rejimlərində kəsməklə bərkliklərin dəyişmə hədləri öyrənilmiş və alınmış nəticələr müvafiq bölmələrdə cədvəl və qrafiklərdə verilmişdir.



Qrafik 2. Bərkliyin massiv üzrə səth görünüşü

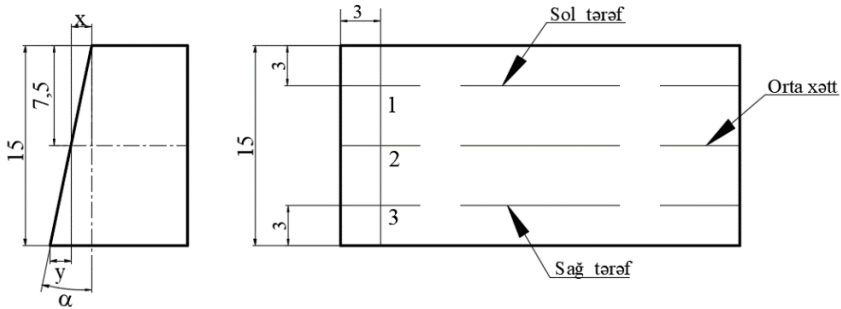
Tərtib olunmuş proqrama əsasən hidroabraziv emalında istifadə edilən abraziv dənələrinin forma və ölçülərinin tədqiqi metodikası işlənmiş və ölçmələr “Nikon SMZ-10” modelli mikroskopda tədqiq olunmuşdur.

Dördüncü fəsildə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın hidroabrazivlə emalında kəsmə üsulu və sxemindən, rejim parametrlərindən asılı olaraq səthin kələ-kötürlüyü, ölçü dəqiqliyi, bərklik və s. amillər eksperimental tədqiqatlarla öyrənilmiş və öz şərhini tapmışdır.

Seçilmiş materialın hidroabrazivlə emalında kəsilən pəstahın qalınlığı dəyişdikdə kəsiyin forma və ölçüləri bir-birindən kəskin dəyişdiyi üçün orada yaranan kələ-kötürlüklərin öyrənilməsi bu əməliyyatın texnoloji imkanlarını araşdırmağa imkan verir.

Hidroabraziv kəsmədə formalaşan kələ-kötürlüyün ölçülməsi koordinatları aşağıda şəkil 4-də verilmişdir.

Bu zaman pəstahın kəsilməş səthində yuxarıdan (sol tərəf) 3mm, aşağıdan (sağ tərəf) 3mm və orta xətt üzrə alınan kələ-kötürlük və dalğavariliyin paylanması öyrənilmişdir. Kələ-kötürlüyün həndəsi parametrləri və dalğavariliyini şəkil 4-də verilmiş 1, 2 və 3 nöqtələrindən başlayaraq (0 nöqtəsi) 4,20; 8,40; 12,60 və 16,80 mm uzunluğunda paylanmasının ölçülməsi üçün “JENOPTİK” cihazından istifadə edilmişdir.



Şəkil 4. Müxtəlif uzununa veriş sürətlərində kəsilmiş pəstahın səthinin kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin ölçülmə koordinatları

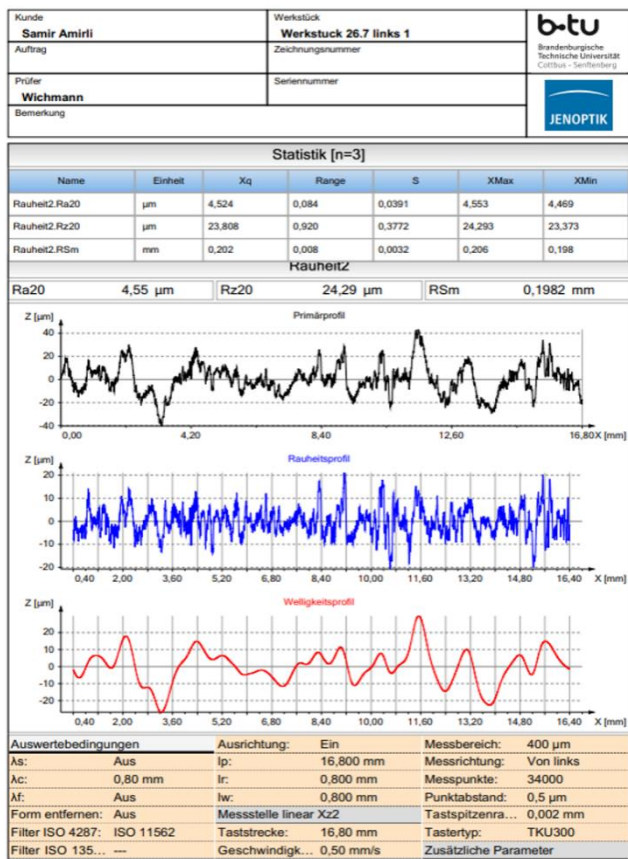
Aparılan hər bir eksperimentin təcrübi ölçüləri avtomatik hesablamalar və proqram təminatı ilə komputer qrafikləri şəklində bu fəsilə verilmişdir. Məsələn, şəkil 5-də qalınlığı 15 mm olan poladın hidroabrazivlə kəsilmiş səthin şəkil 4-də verilmiş sxemə əsasən, emal səthindən 3 mm aşağı məsafədə, yəni sol kəsikdə formalaşan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünün (şəkil 5. a), kələ-kötürlüyün R_z maksimum hündürlüyünün (şəkil 5. b), eləcə də həmin səthdə yaranan S_m dalğavariliyinin (şək.5. c) paylanması qrafiki verilmişdir.

Aparılmış tədqiqatların nəticəsində pəstahın səthində hidroabrazivlə kəsmədə yaranan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünün uzununa verişdən asılılığının təcrübədən alınmış nəticələri qrafik 3-də verilmişdir.

S_{uz} -nun R_a -ya təsirinin riyazi ifadələrinin hesablanması aparılmış (qrafik 2) və müəyyən edilmiş tənliklər əsasında reqresiya əmsalları tapılmışdır. Nəzəri hesablamalardan məlum olmuşdur ki, pəstahın sol, orta və sağ en kəsik üzrə alınmış ayrılərin riyazi ifadələri qrafiklərin xarakterlərindən asılı olaraq fərqli tənliklərlə ifadə olunur. Riyazi hesablamalardan alınmış tənliklər aşağıda verilir.

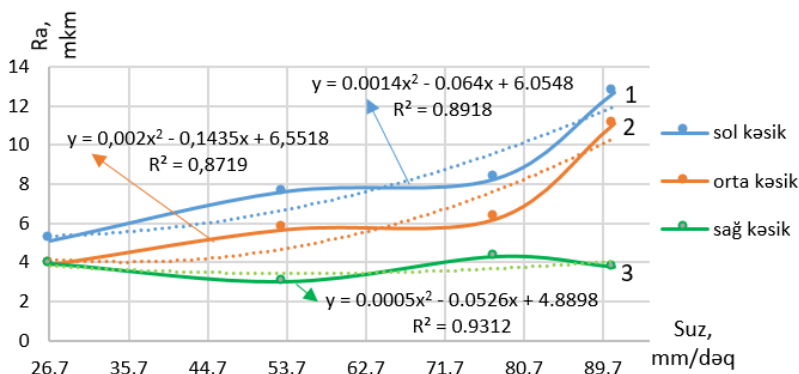
$$\begin{aligned} R_{a1} &= 6,0716 - 0,0649S_{uz} + 0,0014S_{uz}^2 ; \\ R_{a2} &= 6,5518 + 0,1435S_{uz} - 0,002S_{uz}^2 ; \\ R_{a3} &= 4,8898 - 0,0526S_{uz} + 0,0005S_{uz}^2 . \end{aligned} \quad (13)$$

Həmin əyrilərə görə hesablamaların reqresiya əmsalı $R^2=0,8719\div0,9312$ arasında dəyişir ki, bu da təcrübələrdən alınan R_a -ların qiymətlərinin düzgünlüyünün təsdiqini verir.

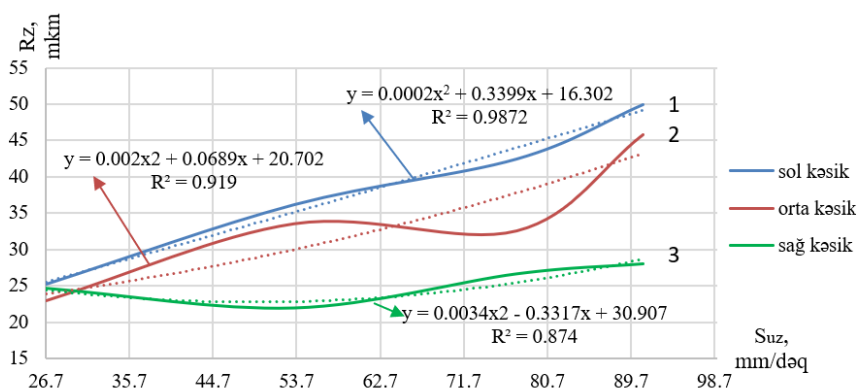


Şəkil 5. Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahın səthinin sol tərəfdən kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin JENOPTİK cihazı vasitəsilə ölçülməsinin nəticələri

Eləcə də həmin rejimlərdə kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü tədqiq olunmuş, alınan qiymətlər əsasında R_z -in dəyişməsi qrafik 4-də verilmişdir.



Qrafik 3. Uzununa veriş hərəkətindən asılı olaraq müxtəlif en kəsiklər üzrə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün (R_a)-təcrübədən alınma ayrılırları



Qrafik 4. Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün (R_z) uzununa verişdən (S_{uz}) asılılıq ayrılırları

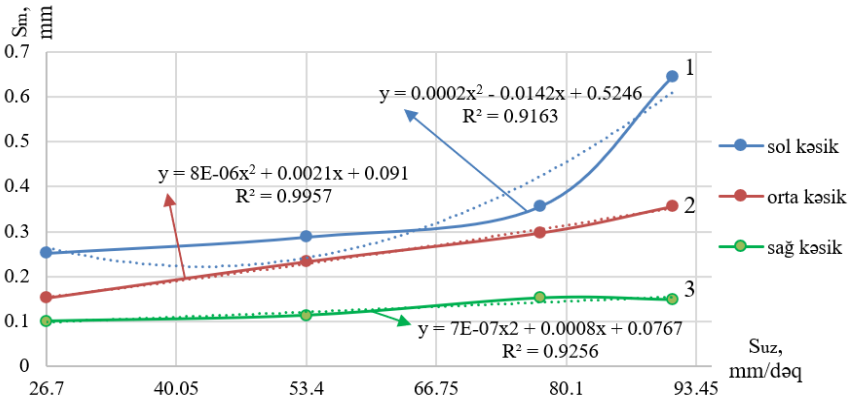
Qrafik 4-də alınmış kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verişdən asılılıq qrafiklərinin riyazi həlli və reqresiya əmsalının hesablanması nəticəsində müəyyən olunmuş asılılıqlar (14) verilmişdir.

$$\begin{aligned} R_{z1} &= 16,302 + 0,3399S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 \\ R_{z2} &= 20,702 + 0,0689S_{uz} + 0,002S_{uz}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

$$R_{z3} = 30,907 - 0,3317S_{uz} + 0,0034S_{uz}^2$$

Kələ-kötürlüklərin göstərilən qanunauyğunluqları üzrə dəyişməsi ilk növbədə abraziv dənələrinin kəsmə zonasına nüfuz etməsi mexanizmi ilə, eləcə də kəsilən pəstahın kontakt zonasına abraziv dənələrinin, yəni orta xətt üzrə yonqar əmələgəlmənin sol və sağ xətlərə nisbətən şəraitinin yaxşı olması ilə izah olunur.

Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, veriş hərəkəti sürətinin artması ilə kələ-kötürlüyün orta addımının S_m paylanması sıxlığı azalır, yəni uzununa verişin $S_{uz} = 26,7 \text{ mm/dəq}$ sürətində sol xətt üzrə kələ-kötürlüyün orta addımı $S_m = 0,2518 \text{ mm}$, orta xətt üzrə $S_m = 0,1525 \text{ mm}$, sağ xətt üzrə $S_m = 1,005 \text{ mm}$ olduğu halda, $S_{uz} = 53,4 \text{ mm/dəq}$ olduqda müvafiq olaraq $S_{msol} = 0,2878 \text{ mm}$, $S_{m.orta} = 0,2335 \text{ mm}$, $S_{msağ} = 0,1137 \text{ mm}$ alınır. Eləcə də kələ-kötürlüyünün orta addımının $S_{uz} = 77,4 \text{ mm/dəq}$ və $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ sürətlərində dəyişməsi qrafik 5-də verildiyi kimi müvafiq olaraq yüksəlir.



Qrafik 5. Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılı olaraq dəyişmə ayrılırları

Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığı qrafiklərinin riyazi ifadələri (15) verilmişdir.

$$\begin{aligned} S_{m1} &= 0,5246 - 0,0142S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 ; \\ S_{m2} &= 0,091 + 0,0021S_{uz} - 0,000008S_{uz}^2 ; \\ S_{m3} &= 0,0767 + 0,0008S_{uz} - 0,0000007S_{uz}^2 . \end{aligned} \quad (15)$$

Bununla yanaşı kəkə-kötürlüyün müxtəlif qalınlıqlı pəstahların emalında həddi ölçüləri təcrübi yolla müəyyənləşdirilmiş və müvafiq təcrübi və nəzəri ifadələri verilmişdir.

Eləcə də kəlkə-kötürlüyün abrazivin dənəvəriliyindən, abraziv materialının sərfiyyatından asılı olaraq kəsmədə yaranan kələ-kötürlüklər, onların orta addımı və emalda yaranan dalğavariliyin təcrübi və nəzəri tədqiqatı aparılmış və alınmış ifadələr dissertasiyada öz həllini tapmışdır.

Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahların ölçü dəqiqliyi iki üsulla, yəni xətti ölçülərin meyillənməsinin öyrənilməsi və ölçmələr üç ölçülü 3D sistemindən (üsulundan) və iki ölçülü 2D sistemindən istifadə edilərək ağ şüa skaneri vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatın metodikasına əsasən hidroabraziv kəsmədə emal dəqiqliyinin tədqiqi mürəkkəb profilə malik, ölçüsü $30 \times 20 \times 15$ mm olan detal üzərində yerinə yetirilmişdir. Məsələn, $S_{uz}=77,4 \text{ mm/dəq}$ uzununa veriş hərəkəti sürəti, abrazivin dənələrinin dənəvəriliyi 80 mkm, su şırnağının təzyiqi 250 Mpa rejimlərində kəsilmiş pəstahda alınan ölçü dəqiqliyi də dördüncü fəsilə ətraflı verilmişdir.

HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində səthdə formalaşan bərkliyi müxtəlif rejim parametrlərindən və abrazivin dənəvəriliyindən asılı olaraq tədqiq olunmuş, alınmış nəticələr əsasında müvafiq qrafiklər, riyazi ifadələr dissertasiyada göstərilmişdir. Məlum olmuşdur ki, HARDOX-500 markalı poladın hidroabrazivlə kəsilməsində səthin bərkliyi $10 \div 18 \%$ -ə qədər yüksəlir.

Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahların qalınlığından və veriş hərəkəti sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq kəsilən səthin forması maili, yəni bucaq altında alınır. Bu səbəbdən hidroabraziv emalda kəsiyin yan səthinin perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni kəsmə sxemi təklif olunmuşdur. Yeni kəsmə sxeminin mahiyyəti pəstahın qalınlığından asılı olaraq pəstah bucaq altında yerləşdirilərək emal prosesi aparılır.

NƏTİCƏ

1. HARDOX-500 markalı poladların hidroabrazivlə kəsilməsində su abraziv şırnağının emal səthinə vurulması sxemindən asılı

olaraq abraziv dənələrinin yaratdığı inersiya qüvvələrinin (P_i) və yonqarəmələgəlmədə iştirak edən kəsmə qüvvələrinin təşkilədicilərinin (P_z, P_y, P_x) rejim parametrlərindən asılı olaraq riyazi tənlikləri təyin olunmuşdur [5].

2. Hidroabraziv üsulla xrom-nikelli HARDOX-500 poladının kəsilməsində yaranan inersiya və kəsmə qüvvələrinin riyazi tənlikləri bu prosesdə yonqarəmələgəlmənin fiziki mahiyyətinin araşdırılmasını və məhsuldarlığın yüksəldilməsi yollarını proqnozlaşdırmağa imkan verir [5].

3. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsilməsində kələ-kötürlüyün (R_a, R_z) səthdə formalaşması mürəkkəb qanunauyğunluqla gedir, kəsilən səthin başlanğıc, orta və aşağı hissələrində kələ-kötürlük fərqli qiymətlər alır. Kələ-kötürlüyün bu halda formalaşması hidroabraziv kəsmə sxemi ilə yanaşı prosesin texnoloji rejimlərindən də asılıdır [1].

4. Emal olunan materialın qalınlığından asılı olaraq hidroabraziv kəsmədə alınan həndəsi ölçülərin dəqiqliyini yüksəltmək üçün texnoloji prosesin rejim parametrlərinin rəasional qiymətləri təyin olunmuş və müvafiq tövsiyələr hazırlanmışdır [10].

5. Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində onların qalınlığından asılı olaraq kələ-kötürlüyün formalaşması səthin bütün sahələri üzrə stabilləşir, R_a -nın və R_z -in orta hündürlüyü kiçilir [3].

6. HARDOX-500 markalı poladların hidroabrazivlə emalında kələ-kötürlüyün və ölçü xətlərinin formalaşmasında abraziv dənələrinin ölçü və sərfiyyatının təsiri çox yüksəkdir. Abraziv dənələrinin optimal ölçüsünün $80 \div 120$ mkm, onların su şırnağındakı sərfiyyatının $165 \div 215$ qr/l götürülməsi tövsiyyə olunur [5].

7. Hidroabrazivlə poladların kəsilməsində detalın səthində yaranan kələ-kötürlüyün və forma xətlərinin qiymətləri müştüyün, yaxud pəstahın uzununa verişinin $26,7 \text{ mm/dəq}$ həddindən 91 mm/dəq həddinə qədər səthdə yaranan kələ-kötürlüyün R_a və R_z qiymətləri monoton artır, 91 mm/dəq -dən sonra kələ-kötürlük yüksək intensivliklə yüksəlir. Bu səbəbdən emal olunan detalın kələ-kötürlük tələblərini və prosesin məhsuldarlığını nəzərə alaraq uzununa veriş

hərəkətinin sürətinin seçilməsi veriş hərəkətinin $26,7 - 91 \text{ mm/dəq}$ intervalında tövsiyə olunur [4].

8. Materialların hidroabrazivlə kəsmədə su şırnağının təzyiqinin prosesin çıxış parametrlərinə təsiri yüksəkdir, aparılmış praktiki və nəzəri təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, HARDOX-500 markalı poladları su abraziv şırnağının təzyiqinin $300 \div 350 \text{ MPa}$ hədlərində kəsilməsində alınan çıxış parametrlərinin (R_a, R_z, Δ, H_μ və başqa) qiymətləri rəşional olur [2], [3].

9. Silindrik pəstahlarda mürəkkəb kontura malik, dairəvi formalı səthlərin hidroabrazivlə kəsilməsində detalın ölçü xətalərinin azaldılması üçün dairəvi verişin həddinin $75 \div 150 \text{ mm/dəq}$ götürülməsi istehsal olunan dəqiqliyin yüksək səviyyədə alınmasını təmin edir ($\Delta = \pm 0,2 \div 0,5 \text{ mm}$), götürülmüş kəsmə rejimində səthdə alınan dalğavarilik $-0,06 \div +0,07 \text{ mm}$ arasında dəyişir [1], [2].

10. Maşın hissələrinin keyfiyyət parametrlərindən biri onun səthində əməliyyat zamanı yaranan emal olunmuş səthin bərkliyidir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində kəsmə rejimi parametrlərindən asılı olmayaraq emal səthində bərklik $10 \div 15\%$ -ə qədər yüksəlir ki, bu da abraziv dənələrinin səthə yüksək zərbələrlə yonqarəmələgəlmədə kəsilən səthdə yaranan plastiki deformasiya hesabına baş verir [11].

11. Təyin olunmuşdur ki, hidroabraziv emal ilə kəsilmiş HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların bərkliyinin yüksəlməsi nəticəsində istehsal olunmuş detalların yeyilməyə qarşı davamlılığı yüksəlir [8], [9].

12. Pəstahların kəsilməsində emal olunan səthin onun yerləşdirmə bazasına görə perpendikulyarlığının təmin olunması əsas texnoloji tələblərdən biri olduğu üçün HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə kəsilməsində tədqiqatlar göstərmişdir ki, kəsmədə yaranan kontakt səthi pəstahın baza səthinə rejim parametrlərindən asılı olaraq maili formada alınır. Bu halda kəsilən səthin baza səthinə nəzərən qeyri perpendikulyarlığı yüksək ölçülər daxilində olur. Ona görə də səthlərin perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni hidroabraziv kəsmə sxeminin işlənməsini tələb edir [12].

13. Araşdırmalardan təyin edilmişdir ki, kəsilən pəstahların qalınlığından, eləcə də uzununa verişdən asılı olaraq kəsilən səthin yerləşdirmə baza səthinə mailiyyə yüksəlir. Məsələn pəstahın qalınlığı

5 mm-dən 15 mm qədər artdıqda meyillənmənin qiyməti (α) $1,78^\circ \div 1,24^\circ$ ($S_{uz} = 26,7 \text{ mm/dəq}$) alınır, uzununa verişin qiymətləri $26,7 \text{ mm/dəq}$ -dən 91 mm/dəq -ə qədər artdıqda isə (pəstahın qalınlığı 15 mm üçün) $1,78^\circ$ -dən $3,12^\circ$ qədər artır [10].

14. Müxtəlif qalınlıqlı pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində yaranan səthin yerləşdirmə baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığını təmin etmək üçün pəstahı dəzgahın işçi zonasında yerləşdirdikdə, onun baza səthinə şırnağı verən müştüyün oxuna nəzərən pəstahın qalınlığına və yaxud uzununa verişin qiymətinə görə tələb olunan bucaq qədər maili yerləşdirib kəsmə prosesi icra olunmalı, yaxud ikinci kəsmə sxemi kimi olaraq pəstah dəzgahın işçi stolunda paralel oturdulmalı və tələb olunan bucaq qədər müştüyün oxunu pəstahın səthinə nəzərən maili yerləşdirilməlidir [10].

15. Təklif olunmuş hidroabraziv kəsmə prosesinin yeni texnoloji prosesinin xüsusiyyətlərindən biri də su şırnağı təzyiqinin abraziv qarışığında itməsinin qarşısını almaq üçün su şırnağı başlığının oynağının yeni konstruksiyası işlənmiş və tədqiqatlarda tətbiq olunmuşdur. Bununla da hidroabrazivlə kəsmədə su-abraziv şırnağının səthə vurulma təzyiqini sabitləşdirmək mümkün olmuşdur.

16. Dissertasiya işi eksperimentlərin tam faktorlu planlaşdırma əsasında aparılmış, informasiya texnologiyalarından istifadə etməklə riyazi tənliliklər alınmış və şərh edilmişdir [14], [15].

17. Dissertasiya işinin alınmış nəticələrinin “İqlim EİM” MMC-nin silah hissələrinin ştamplanması üçün tədqiq edilən şamppların kəsici, formalaşdırıcı detallarının yeni hidroabraziv kəsmə üsulunun tətbiqində aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

- emal dəqiqliyi və ölçü meyillənmələri $0,01 \div 0,06 \text{ mm}$, yəni mövcud texnoloji proseslərin göstəricilərindən $2 \div 2,5$ dəfə yüksək alınır;

- emal payının azalması hesabına şərti olaraq bir ştamp üçün orta hesabla $1,5 \text{ kq}$ qənaət olur;

- emal olunan səthin keyfiyyəti $30-35 \%$ artdığı üçün əlavə texnoloji proseslərin yerinə yetirilməsinə ehtiyac qalmır;

- ştampın uzunömürlülüüyü $15-20 \%$ artır;

- məhsuldarlıq 25% artır.

Bunları nəzərə alaraq 100 ədəd ştampın istehsalında yeni hidroabraziv texnoloji prosesinin tətbiqindən alınan şərti iqtisadi səmərə 40000 AZN olmuşdur.

DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP EDİLMİŞ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. Амиров, Ф.Г. Определение точности измерений при обработке давлением воды с использованием 3D-сканирования/Ф.Г.Амиров, С.Симон, С.Ф.Амирли [и др.] // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, – Баку: – 2021.Vol.13. no.3. – pp. 38-44.

2. Simon S., Yusubov N.D., Amirli S.F. Formation of Geometric Parameters of the Surfaces of Cylindrical Parts during Waterjet Cutting // Advances in Science and Technology Submitted.- 2024, Vol.148, -pp. 59-64.

3. Simon S. The influence of cutting regime parameters on surface roughness in hydroabrasive waterjet processing of HARDOX-500 material / S.Simon, N.D. Yusubov, S.F.Amirli [and others] // Materials Of The VI International Scientific Practical Conference «Energy and Resource Saving Technologies: Experiences and Prospects» – Кызылорда: – 2024. – pp. 179-187.

4. Simon S. Research on some issues of the processed surface formation in the hydroabrasive cutting of chrome-nickel steels / S.Simon, N.D.Yusubov, S.F. Amirli [and others] // International Symposium on Unmanned Systems: AI, Design, and Efficiency held in Baku, Azerbaijan on 22nd of May and 24th of May. – Baku: – 2024, – p. 26.

5. Симон, С. Некоторые особенности стружкообразования при гидроабразивной обработке./ С.Симон, Н.Д.Юсубов, С.Ф. Амирли, [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, – 2024. № 11, – с. 53-61.

6. Симон, С., Юсубов, Н.Д., Амирли, С.Ф. Исследование микротвёрдости при гидроабразивной отрезке заготовок из стали

HARDOX–500//Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции /под ред. Р. С. Шамсутдинова [и др.]; Альметьевский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ. – Санкт-Петербург: – Сциентиа, – 2024. –Том XIII, – с.16-21.

7. Simon, S. Hidroabraziv emalin gəmiqayırmada tətbiqi / S.Simon, N.D. Yusubov, S.F. Əmirli // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, – Bakı: – 2024. №1, – s. 47-52.

8. Simon S., Yusubov N.D., Amirli S.F. Müxtəlif kəsmə rejimlərində xrom-nikel tərkibli hardox–500 materialından kəsilən pəstahların mikrobərkliyinin araşdırılması // “Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar” mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransı,- Bakı, AzTU:-1-2 may,-2024.-s.439-443.

9. Амирли С.Ф. Точность изготовления деталей сложного профиля из хромо-никелевых сплавов хардох-500// XII Международной научно-практической конференции «Современные проблемы теории машин»,-Санкт-Петербург:- 31 мая, 2024 г. – №17,- с. 147-149.

10. Симон С., Юсубов Н.Д., Амирли С.Ф., Амиров Ф.Г. Технологические особенности отрезки заготовки HARDOX-500 гидроабразивным способом// Вестник машиностроения. -2024. Т. 103. № 9. -с.781-785.

11. Simon, S. Hardox-500 markalı xrom-nikel poladının hidroabrazivlə emalında mikrobərkliyin kəsmə rejimlərindən asılılığının tədqiqi / S.Simon, N.D. Yusubov, S.F. Əmirli, və b. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – Bakı: – 2024. cild 16, № 4, – s.27-33.

12. Simon S., Yusubov N.D., Amirli S.F., Amirov F.G. Waterjet Cutting of HARDOX-500 Workpiece. Russian engineering research.-2024. Vol. 44 No. 11. -pp.1572-1576.

13. Simon S., Yusubov N.D., Amirli S.F. Investigation of the variation in surface microhardness depending on longitudinal feed in

the processing of HARDOX-500 chromium-nickel steel by various methods/VI International Turkic World Congress on science and engineering.- Baku:-19-21 December 2024. - p.328.

14. Simon S. Planning of Full Factorial Experiments for the Investigation of Roughness in Hydroabrasive Waterjet Cutting of Hardox-500 Steel / S.Simon, N.D.Yusubov, S.F. Amirli [and others] // Pakistan Journal of Life and Social Sciences. –Pakistan: –2024, 22(2). – pp. 21590-21595.

15.Симон, С. Исследование параметра шероховатости поверхности хромоникелевой стали после гидроабразивной обработки с применением полного факторного эксперимента / С. Симон, Н.Д. Юсубов, С.Ф. Амирли, [и др.] // Вестник машиностроения. –2025. Т. 103. № 1, – с. 60-64.

Çap olunmuş elmi işlərdə iddiacının şəxsi iştirakı:

[9] sayılı iş müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[1-8,10-15] sayılı işlərdə məsələnin qoyuluşu və həlli, təcrübə tədqiqatların aparılması, nəticələrin işlənməsi, təkliflərin verilməsi, elmi müddəaların formalaşdırılması müəllif tərəfindən, qalan hissələr isə həmmüəlliflərlə birgə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi __ ____ 2025 -ci il tarixində saat 11⁰⁰ Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən

BFD 2.09/2 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı ş., H. Cavid pr. 25, Azərbaycan Texniki Universiteti, otaq 317

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat — — — — — 2025 -ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 00.00.2025
Kağızın formatı: A5
Həcm: 47.205
Tiraj: 100