

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

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

İxtisas: 3313.01 – “Maşınqayırma texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

Fəlsəfə doktoru

elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

DİSSERTASIYA

İddiaçı: _____ **Samir Fariz oğlu Əmirli**

Elmi rəhbər: _____ **Texnika üzrə elmlər doktoru, professor**

Nizami Dəmir oğlu Yusubov

_____ **Dr.-Ing. habil. Dr.h.c., professor**

Sylvio Simon

Bakı – 2025

MÜNDƏRİCAT

	Səh.
GİRİŞ.....	5
I FƏSİL. HİDROABRAZİV EMAL ÜSULUNUN TƏDQIQINƏ HƏSR EDİLMİŞ ELMİ ARAŞDIRMALARIN ƏDƏBİYYAT ANALİZİ.....	13
1.1.Hidroabraz emal dəzgahlarının konstruktiv xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri.....	14
1.2.Hidroabraziv emal texnologiyasına həsr edilmiş elmi tədqiqat məlumatlarının araşdırılması.....	22
1.3.Hidroabraziv emal texnoloji prosesinin parametrlərinin seçilməsinin araşdırılması.....	36
1.4.Dissertasiya işinin məqsədi və həlli tələb olunan məsələlər.....	43
II FƏSİL. HİDROABRAZİV EMAL PROSESİNİN TEXNOLOJİ MƏSƏLƏLƏRİNİN NƏZƏRİ ARAŞDIRILMASI.....	45
2.1.Hidroabraziv emalında yonqarəmələgəlmə mexanizminin araşdırılması.....	45
2.2.Hidroabraziv ilə çətin emal olunan materialda kontakt zonasının xüsusiyyətləri.....	58
2.3.Hidroabrazivlə çətin emal olunan (HARDOX-500) material üçün rejim parametrlərinin optimallaşdırılması.....	61
2.4. II Fəsil üzrə nəticələr.....	64
III FƏSİL. HİDROABRAZİV EMAL ÜSULUNUN TƏDQIQAT METODİKASININ İŞLƏNMƏSİ	66
3.1. Eksperimentlərin aparılması üçün dəzgah və cihazların seçilməsi.....	66
3.2. Təcrübələrin riyazi planlaşdırılması.....	70
3.3. Hidroabraziv emalda bərkliyin çox faktorlu eksperimentlərinin riyazi modelinin çıxarılması.....	79
3.4. Hidroabraziv kəsmədə səthin kələ-kötürlüyü, forma xətalı və bərkliyin tədqiqat metodları və cihazları.....	85
3.4.1. Kələ-kötürlüyün və forma xətalının tədqiqi.....	85

3.4.2. Bərkliyin tədqiqi metodikası və cihazlar.....	87
3.4.3. Abrziv dənələrinin həndəsi forma ölçülərinin tədqiqi metodikası və cihazlar.....	89
3.4.4. Hidroabraziv emalda tətbiq olunan müştüyün və kəsilmiş detalların ölçülərinin təyin olunması cihazları.....	93
3.5. III Fəsil üzrə nəticələr.....	96
IV FƏSİL. ÇƏTİN EMAL OLUNAN HARDOX-500 MARKALI XROM-NİKELLİ POLADIN HİDROABRAZİVLƏ EMALININ TƏDQIQI.....	97
4.1. HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli materialın hidroabrazivlə kəsilməsində formalaşan kələ-kötürlüyün texnoloji parametrlərdən asılılığı.....	97
4.2. Hidroabraziv kəsmədə emal dəqiqliyinin araşdırılması.....	136
4.3. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində səthdə formalaşan bərkliyin tədqiqi.....	146
4.4. Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsilməsinin yeni texnologiyasının işlənməsi.....	161
4.5. Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin «İqlim EİM» MMC-nin silah hissələrinin ştamplanması üçün tətbiq edilən ştampların kəsici, formalaşdırıcı detalların istehsalında tətbiqi ilə əlaqədar şərti iqtisadi səmərəliliyin hesabı.....	163
4.6. Tədqiqatın eksperimental hissəsinin BTU Kottbus-Senftenberq-də həyata keçirilməsi və tədqiqat nəticələrinin tədris prosesinə tətbiq edilməsi.....	165
4.7. IV Fəsil üzrə nəticələr.....	166
NƏTİCƏ.....	169
İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.....	173
ƏLAVƏLƏR.....	190
Əlavə 1. Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi haqqında akt.....	190

Əlavə 2. Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəzəri və eksperimental təcrübələrin aparılması haqqında akt.....	195
Əlavə 3. Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəticələrinin tədris prosesində tətbiqi barədə tövsiyə.....	200
İXTİSARLAR VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏRİN SİYAHISI.....	202

GİRİŞ

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 [132, s.1-2], [127, s.4-5], [9, s.39-40], [126, s.23-25], [129, s.12-20], [130, s.1].

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 kəsən dişlərinin, gəmi gövdələrinin, eləcə də maşınqayırma sənayesinin digər sahələrində yeyilməyə qarşı davamlı hissələrin hazırlanmasında tətbiq etmək olar. Baxmayaraq ki, HARDOX-500 markalı poladın əyilməyə, qaynaqlanmaya texnoloji baxımdan səmərəliliyi yüksəkdir, eləcə də yeyilməyə qarşı davamlıdır, lakin onun mexaniki emalı-frezləmə, torna, burğulama, kəsmə, paradaqlama və.s. üsullar ilə çətin olduğu üçün, bu üsullarla detalların HARDOX-500 markalı polad materialından istehsalı mürəkkəb, yüksək maya dəyərində malik texnoloji proseslərdir [132, s.1-2].

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 [13, s.72], [34, s.71-75], [47, s.3-7], [48, s.81-85], [102, s.2139]. Müasir maşınqayırma müəsisələrində hidroabrazivlə metalların kəsilməsi, pəstahların doqranması, detalların kontur səthlərinin yüksək forma və dəqiqliklə istehsal olunması üçün rəqəmli proqramla idarə olunan (RPİ) xüsusi proqressiv 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 yüksək təzyiqli su şırnağı vasitəsilə həyata keçirilir [22, s.3-5], [80, s.308], [105, s.39-40], [106, s.963-964], [144, s.1] [145, s.1]. 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. Hidroabraziv emalda texnoloji əməliyyatın yonqarəmələgəlmə prosesi çoxaxınlı soyuducu mühütdə getdiyi üçün pəstahın kəsilən səthində temperatur deformasiyaları baş vermir ki, bu da bir sıra əlavə texnoloji əməliyyatların aparılmasını aradan qaldırır [13, s.72], [85, s.79]. Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi prosesinin texnoloji giriş və çıxış parametrlərinin eksperimental və nəzəri tədqiqi sahəsində bir çox alimlərin, o cümlədən, M.A. Tamarkin, [80, s.308], E.A. Kosenko, [42, s.29], A.V. Sarazov, [58, s.76], A.A. Barzov, A.L. Qalinovskiy, M.V. Xafizov, V.İ. Kolpakov, [13, s.72], Y.K. Yaqlizkiy, [85, s.79], T.V. Ereşenko, N.A. Mixayliva, [21, s.59], M. Kaufeld, F. Pude, M. Linde [126, s. 23-24] və s.-in elmi araşdırmaları vardır. Bu elmi əsərlər hidroabraziv emalın təkmilləşdirilməsi, kəsmənin məhsuldarlığının yüksəldilməsi sahəsinə həsr edilmişdir [20, s.29].

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 uzun 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 rasional 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 təsirinin öyrənilməsi maşınqayırmanın aktual problemləri olmaqla yanaşı təqdim edilən dissertasiyanın mövzudur [132, s.1-2].

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 zamanı səthin həndəsi forma və xətlərinin, kələ-kötürlüyün, dalğavarililiyinin, 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 dəyişməsini, kələ-kötürlüyünün, dalğavarililiyinin, bərkliyin və detalın həndəsi ölçülərinin formalaşmasının nəzəri və eksperimental tədqiqidir.

Göstərilən problemlərin həll olunması aşağıdakı məsələlərin öyrənilməsini tələb edir:

1. Xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində yonqarəmələgəlmənin xüsusiyyətlərinin nəzəri tədqiqi.

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

3. Hidroabrazivlə xrom-nikelli poladların kəsilməsində dalğavarililiyin yaranma mexanizminin texnoloji amillərdən asılılığının tədqiqi.

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

5. Hidroabrazivlə 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 Universiteti Kottbus-Senftenberq-in “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

Müdafiyyəyə çıxarılan əsas müddialar: Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaqdan ötrü dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir.

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 uzununun formalaşmasından irəli gələn yeni texnoloji kəsmə prosesi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işinin elmi yenilikləri 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 hazırlanarkən 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 EİB” 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 işlənməmişdir.

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

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

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

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, Qızılırdə: 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, Almeteyevsk, Kazan Milli Tədqiqat Texniki Universitetinin Almeteyevsk filialı. A.N. Tupolev - KAI.

5. “Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar” mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransı, 1-2may 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 işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Maşınqayırma texnologiyası" və Almaniyanın Brandenburg Texniki Universitetinin "Metalkəsən dəzgahlar" kafedralarında yerinə yetirilmişdir.

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 (5423 işarə), giriş (13384 işarə), I fəsil (54490 işarə), II fəsil (27675 işarə), III fəsil (29738 işarə), IV fəsil (84932 işarə), nəticə (6034 işarə) istifadə edilmiş ədəbiyyat(145), dissertasiya işinin ədəbiyyat siyahısı (24726 işarə), əlavələr və ixtisarlardan və şərti

işarələrinin siyahısı (13369 işarə) təşkil edir. Dissertasiyanın həcmi şəkillər, cədvəllər, qrafiklər və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 259771 işarədən ibarətdir.

İşin nəticələrinin dərci. Dissertasiya işinin əsas məzmunu 15 elmi işdə öz əksini tapmışdır.

I Fəsil. HİDROABRAZİV EMAL ÜSULUNUN TƏDQİQİNƏ HƏSR EDİLMİŞ ELMİ ARAŞDIRMALARIN ƏDƏBİYYAT ANALİZİ

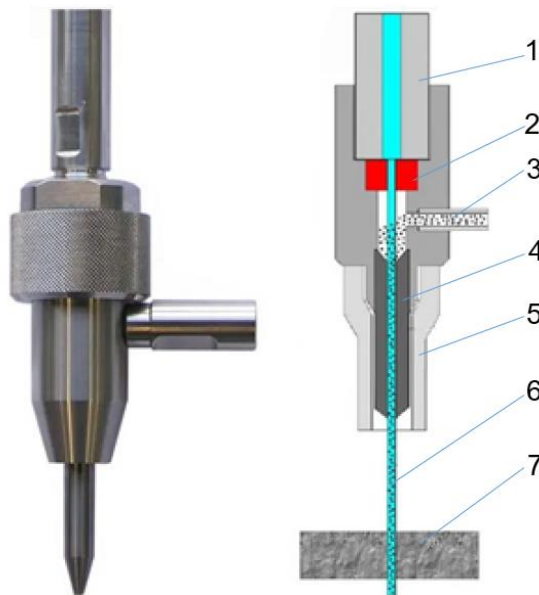
Maşınqayırma sənayesinin müxtəlif sahələrində, o cümlədən avtomobil, təyyarə, gəmiqayırmada və digər istehsalat proseslərində detalların istehsal texnoloji prosesləri zamanı bir sıra mexaniki emal üsulları ilə yanaşı hidroabraziv emal texnoloji əməliyyatlarının da geniş istifadə edildiyi vurğulanmışdır. 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. Bu halda yonqarəmələgəlmədə ayrılan istilik su şırnağının yüksək sürətli axını mühitində getdiyi üçün kəsmənin kontakt səthlərində temperaturun toplanması baş vermir. Ona görə də emal olunan səthlərdə temperatur gərginlikləri yaranmır, eləcə də metalda güclü struktur çevrilmələri baş vermir. Bu səbəbdən hidroabraziv emal üsulu ilə hazırlanan detalların fiziki- mexaniki xassələri yüksək səviyyədə olur.

Hidroabraziv emalın aparılması xüsusi dəzgahlarda yerinə yetirilir ki, bu dəzgahlar kinematik, konstruktiv xüsusiyyətlərinə görə digər metalkəsən dəzgahlardan fərqlənir. Baxmayaraq ki, metalkəsmə prosesində yonqarəmələgəlmə üsulunu icra edən kinematik hərəkətlər bütün hallarda oxşardır, hidroabraziv emalın özünə məxsus xüsusiyyətləri mövcuddur. Aşağıda hidroabraziv emalda tətbiq edilən dəzgahların xüsusiyyəti, onların konstruksiyalarının araşdırılması, müxtəlif aparıcı ölkələrin istehsal etdikləri dəzgahların markalarının icmalısı verilmişdir [135, s.1-5].

1.1. Hidroabraziv emal dəzgahlarının konstruktiv xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri

Xrom-nikel tərkibli poladlardan mürəkkəb kontura malik detalların istehsalında hidroabraziv emal prosesinin tətbiqi müasir dövrdə geniş vüsət alır. Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi prosesi abraziv dənələrinin yüksək təzyiqli su şırnağı ilə qarışdırılaraq emal olunan səthdə erroziya prosesi yaratmaqla yonqar əmələ gətirməsi və su şırnağı vasitəsilə kəsmə zonasından yuyularaq kənarlaşdırılmasından ibarətdir [90, s.1046].

Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi aşağıda verilmiş sxem əsasında (şəkil 1.1.1) icra olunur [51, s.339], [9, s.40], [65, s.13], [100, s.36].



Şəkil 1.1.1 Hidroabrazivlə kəsmə sxemi [51, s.339]

Şəkil 1.1.1-də 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 materialdır.

Hidroabraziv emalı yerinə yetirmək üçün dəzgahlar xüsusi konstruksiyaya malik bəndlərdən ibarət olmalıdır. Hidroabraziv kəsmə dəzgahı yüksək təzyiq yarada bilən nasosla təchiz olunur. Nasosun vəzifəsi su şırnağının yüksək təzyiqlə, tələb olunan rejimlərdə kəsmə zonasına verilməsini təmin etməkdir. Yəni, təzyiq həddinin müxtəlif

ölçülərdə (intervallarda) verilməsini pilləsiz tənzimləmə ilə icra etməlidir. Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında, əsasən, standart tipli yüksək təzyiq nasoslarından, yəni plunjerli-düzaxınlı və multiplikator tipli nasoslardan istifadə olunur. Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, plunjerli nasoslar su şırnağının təzyiqini pilləsiz rejimdə 100÷3800 bar səviyyəsində tənzimləyə bilər ki, bu da metalların kəsilməsi üçün tələb olunan kəsmə rejimini təmin edir [51, s.339], [65, s.13], [9, s.40], [17, s.27]. Ön əhəmiyyətli cəhətlərdən biri ondan ibarətdir ki, plunjerli yüksək təzyiq nasoslarının faydalı iş əmsalı 95 %-ə çatır.

Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında tətbiq olunan nasoslara ikinci tip multiplikator tipli nasosları misal göstərmək olar [41, s.377]. Multiplikator tipli nasoslar su şırnağını impuls ilə verilməsini təmin etmək üçün reversiv mexanizmlə birlikdə layihələndirilmişdir. Buna görə də bu tip nasosların məhsuldarlığı və faydalı iş əmsalı yüksəkdir. Təzyiqin sabit saxlanması imkan verir ki, kəsmə prosesində texnoloji rejimlərin stabil şəraitdə aparılmasını təmin etsin. Multiplikator tipli nasosları proqram təminatı ilə təchiz olunmuş sistem olduğu üçün, işlənmiş su abraziv qarışığını ikiqat filtirlənmə (süzülmə) aparmaqla, dəzgahın işçi rejim parametrlərini özü diaqnostika etməklə emal prosesini aparır. Bu tip nasoslar bir çox hidroabraziv dəzgahların konstruksiyasında, məsələn: FLOW WMC2 RPI (ABŞ istehsalı), OMAX Jet Maching Center 2626 RPI (ABŞ istehsalı) Water Jet Sweden NC 1000 RPI (İsveç istehsalı), Resato R-LCM 1515-1 RPI (Hollandiya istehsalı), Bars Jet 1510-3.1.1 (Rusiyan istehsalı), HEAD Water Jet 2030 və s. dəzgahların konstruksiyasında tətbiq edilmişdir. Dəzgahların tipindən və kəsilən pəstahların qabarit ölçülərindən asılı olaraq, eləcə də kəsiyin qalınlığından irəli gələrək, nasosların yaratdığı təzyiq bir-birindən fərqli ola bilər. Məsələn, NS5 Ultra (Fivex Ultra) [134, s.1] dəzgahında tətbiq olunan multiplikator tipli nasosların maksimum yaratdığı təzyiq 4200 bar həcmindədir. Bu nasoslar Streamer [135, s.1] markalı (Almaniya) hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında tətbiq edilmişdir. HE Water Jet-2030 markalı [133, s.1], [135, s.1-2] hidroabraziv kəsmə dəzgahında tətbiq edilən multiplikator tipli nasosların işçi təzyiqi 3700-3900 bar tövsiyə edilir. Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının konstruktiv elementlərindən biri su şırnağının nasosdan kəsmə zonasına sərbəst ötürülməsidir. Mövcud dəzgahlarda su

nəql edən borular yüksək təzyiqə dözümlü konstruksiyaya malik borulardır. Dəzgah eyni zamanda yüksək təzyiq klapanları ilə təchiz olunmuş kəsici ucluqla emal prosesini icra edir. Bu prinsipə əsasən su şırnağı idarə olunma sistemi ilə əlaqələndirilərək işçi rejim təmin edilir.

Hidroabraziv dəzgahının konstruktiv elementlərindən biri onun stoludur. Stolun ölçüsü dəzgahın modelindən asılı olaraq müxtəlif olur. Stol pəstahların kəsilməsi zamanı onların bərkidilməsi, yerləşdirilməsi və mövqeləndirilməsi koordinatlarını təmin edən qurğularla təchiz olunmuşdur. Məsələn, qeyd edilən ədəbiyyata [136, s.1-2] əsasən HEAD Water Jet-2030 markalı hidroabraziv kəsmə dəzgahında stolun işçi zonasının ölçüsü 2000 x 3000 mm daxilində götürməklə Z oxu üzrə yerdəyişməsi 150÷1000 mm arasında olur. Pəstahın yerləşdirmə xətasının idarə olunma dəqiqliyi $\pm 0,1$ mm həddindədir.

Hidroabraziv kəsmə dəzgahının konstruktiv elementlərindən biri abraziv dənələrinin yerləşdiyi bunker və onun sorulub suya qarışdırılma mexanizmidir. Su şırnağı abrazivlə birlikdə forsunkadan keçərək, qarışdırıcı kameraya dolaraq, fokuslaşdırılmış formada kəsici müştüyə verilir. Su şırnağının diametri qarışıqın yaranmasını təmin edən borunun diametrindən aslı olur. Forsunkanın əsas funksiyası su şırnağının yüksək təzyiqli boru vasitəsilə verilməsini nizamlamaqdan ibarətdir. Forsunka gövdədən, oturacaqdan və xüsusi daşdan ibarətdir. Forsunkanın istismar müddəti onun daşının materialından asılı olaraq müxtəlif olur. Məsələn, bərk xəlitədən olan forsunka daşı 20-30 saat, sapfirdən olan forsunka daşı 300 saat onun iş rejimini təmin edir [17, s.28].

Hidroabraziv emalda texnoloji amillərdən biri kəsmə zonasına verilən su şırnağının sərfiyyatının təyin olunmasıdır. Su şırnağının sərfiyyatı onun verilmə təzyiqindən çox asılıdır. Kəsmədə su şırnağının təzyiqinin artması ilə, eləcə də su axan müştüyün daxili diametri böyüdükcə onun sərfiyyatı yüksəlir. Su şırnağının təzyiqi və sərfiyyatının artmasının mənfi fəsadlarından hidroabraziv dəzgahının stolu xüsusi qurğu vasitəsilə qorunur. Bu qurğunun da konstruksiyası hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının modelindən asılı olaraq fərqli formada olur. Bəzi dəzgahlarda stolda yerləşdirilmiş su toplanan qurğuya qabırğalar (çatıda) əlavə olunur, bunlar da qalın və ağır pəstahların yerləşdirilməsinə imkan verir. Hidroabraziv kəsmə detallarında abraziv dənələrinin su

şırnağına qarışdırılması sistemlərinin bir neçə konstruksiyası mövcuddur və həmin sistemlər müxtəlif sorma (qarışdırma) prinsipləri ilə idarə olunurlar. Abraziv dənələrinin su ilə qarışdırma sistemləri aşağıdakı prinsip əsasında işləyir [51, s.339], [101, s.1003-1004], [103, s.349]:

1. Abraziv dənələri sıxılmış hava ilə sorularaq suya qarışdırılır.
2. Abraziv dənələri xüsusi qaba tökülərək öz çəkisinin yaratdığı qravitasiya qüvvəsi ilə suya tökülərək qarışdırılır.
3. İnyeksiya üsulu ilə abraziv dənələri vakuumda sorularaq suya müştüyün çıxışında qarışdırılır. Əksər dəzgahlarda abraziv dənələrinin su ilə qarışdırılması bu prinsip əsasında qurulmuşdur.

Sənayedə tətbiq olunan hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında emal prosesinin idarə olunması, abraziv dənələrinin su şırnağı ilə qarışdırılması və digər texnoloji kinematik hərəkətlər rəqəmli proqramla idarə olunan 3-oxlu, 5-oxlu və 6-oxlu **yerləşdirilmə** sistemləri ilə istismar olunur ki, bu da hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının sənayenin müxtəlif sahələrində maşın hissələrinin istehsalında tətbiq etməyə imkan verir.

Maşınqayırma müəsisələrinin müxtəlif sahələrində aşağıda verilmiş müxtəlif modelli hidroabraziv kəsmə dəzgahları istifadə olunur.

BarsJet-2515-3.1.1. dəzgahının ümumi görünüşü şəkil 1.1.2- də verilmişdir.



Şəkil 1.1.2 BarsJet-2515-3.1.1.dəzgahının ümumi görünüşü
[138, s.1]

EİB “Bars” (НПО “Барс”) sənaye kompleksi tərəfindən BarsJet 1510-3.1.1, BarsJet 2010-3.1.1. və BarsJet-2515-3.1.1. modelli hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının maşın hissələrinin hazırlamasında istifadəsi tövsiyə edilir [138, s. 1], [139, s.1].

Göstərilən dəzgahların işçi stolunun ölçüləri fərqli hədlərdə buraxılır. Məsələn, BarsJet-1510-3.1.1 moddelli dəzgahların koordinatları (X x Y x Z) 2870 x 1950 x 1980 mm, BarsJet-2010-3.1.1. 3370 x 1950 x 1980 mm ölçüdə, BarsJet-2015 modelli dəzgahda koordinat stolunun ölçüləri (X xY x Z) 3370 x 2480 x 1980 mm hədlərində hazırlanır. Koordinat stolunun X və Y oxu üzrə tamasa ilə təchiz olunmuş Y oxu üzrə hərəkət edən sinxron mühərriklə təchiz olunmuşdur. Pəstahın yerləşdirmə dəqiqliyi $\pm 0,1/1000$ mm-dir. Dəzgah üç variantda 37; 45; 75 kvт mühərriklə buraxılır və işçi təzyiqin maksimal qiyməti 3800/4160 bar təşkil edir.

Bu firmanın dəzgahlarından biri BarsJet-2060-3.1.1 modelini göstərmək olar [137, s.1]. Dəzgahın ümumi görünüşü şəkil 1.1.3-də verilmişdir.



Şəkil 1.1.3 BarsJet 2060-3.1.1. dəzgahının ümumi görünüşü [137, s.1]

BarsJet-2060-3.1.1. modelli dəzgahın koordinat stolunun (X x Y x Z) ölçüləri 2480 x 7900 x 1980 mm-dir. Bu dəzgahın konstruksiyasında X və Y oxları üzrə

koordinatlaşdırma xəttin tamasa üzrə sinxronlaşdırılmış intiqalla hərəkəti təmin olunur. Pəstahın yerləşdirmə mövqeyinin dəqiqliyi $\pm 0,1/1000$ mm-dir. Su şırnağının işçi təzyiqi 3800 bardır. Dəzgahın proqram təminatı BarsJet generator + BarsJet-monitorinq + Bars Jet CNC ilə təchiz olunmuşdur.

Sənayenin müxtəlif sahələrində tətbiq edilən hidroabraziv dəzgahlarının istehsalı firmaları əsasən FLOW, OMAX, Jet Edge (ABŞ), PTV (Çexiya), WaterJet (Sweden), Resato (Holandiya), Bystoronic (İsveçrə), Caretta Texnolgy (İtaliya), ALICO (Finlandiya) –dır [46, s.148].

Mövcud olan hidroabraziv kəsmə dəzgahlarından müasir dövrdə ən səmərəli konstruksiyaya malik modernizə edilmiş FLOW Mach-4 markalı (ABŞ) dəzgahlardır. Bu dəzgahın xüsusiyyətlərindən biri onun modul konstruksiyada olmasıdır. Bu cəhətdən, kəsmə prosesində digər konstruktiv modulların bir sxemlə birləşdirməklə hidroabraziv dəzgahının səmərəli konstruksiyası əldə olunmuşdur. FLOW Mach-4 dəzgahının ümumi görünüşü şəkil 1.1.4-də göstərilmişdir.



Şəkil 1.1.4 FLOW Mach-4 modelli hidroabraziv kəsmə dəzgahının ümumi görünüşü [46, s.148]

Hidroabraziv emal dəzgahlarında rəqəmli proqramla idarəetmə sistemlərinin tətbiqi müxtəlif bərkliyə, fiziki-mexaniki xassələrə malik materialların dəqiq profildə kəsilməsini təmin edən texnoloji avadanlıqlardır. Bu səbəbdən HARDOX-500 markalı

xrom-nikelli poladlardan mürəkkəb profilə malik, ölçü hədlərinə yüksək dəqiqlik tələbi qoyulan hissələrin hazırlanmasında RPİ hidroabraziv kəsmə dəzgahlarından istifadə olunması maşın hissələri istehsalının məhsuldarlığının və keyfiyyət parametrlərinin yüksəldilməsinə geniş imkanlar yaradır. Hidroabraziv RPİ kəsmə dəzgahının ümumi görünüşü şəkil 1.1.5-də verilmişdir.



Şəkil 1.1.5 RPİ hidroabraziv kəsmə dəzgahının ümumi görünüşü [46, s.149]

RPİ hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının iş xüsusiyyətləri aşağıda verilmiş qaydadadır:

- emal edilən materialın tərkibini, fiziki-mexaniki xassələrinə görə avtomatik olaraq kəsici su şırnağının abrazivlə qarışığının miqdarının seçilməsini, su şırnağının təzyiqinin təyin olunması və kəsmə prosesinin digər texnoloji parametrlərinin seçilməsini icra edir;

- RPİ hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında kəsilmiş səthlər əlavə olaraq mexaniki emala uğradılmır. Buna baxmayaraq RPİ hidroabraziv dəzgahlarında emalda yaranan səthin kələ-kötürlüyü, kəsmənin keyfiyyəti proqram vasitəsilə avtomatik araşdırma aparılaraq lazım olan texnoloji rejim parametrlərinin seçilərək tənzimlənməsini və sazlanmasını təmin edir;

- RPI hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında pəstahların həndəsi konturlarının kəsilməsi ilə yanaşı digər texnoloji əməliyyatları da, məsələn tələb olunan ölçüdə dəşiklərin açılmasını və yaxud digər tərtibatlarla təchiz etməklə başqa mexaniki əməliyyatları da yerinə yetirmək olur.

- hidroabraziv RPI dəzgahlarında emaldan sonra istehsal olunmuş detalların səthlərinin əlavə pardaqlama əməliyyatına uğradılması aradan qaldırılır.

- hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının konstruksiyalarının yaradılmasında Avropa ölkələrindən olan İsveçdə də mütərəqqi işlər aparılmışdır [46, s.149-150]. İsveçdə hidroabraziv kəsmə dəzgahları WaterJet Sweden firmasının istehsal etdiyi NC 1010B, NC 3015E (B), NC 4020E (B), NC 2560S modelləri altında istehsal olunur. Bu dəzgahların stolunun və kəsmə zonasının ölçüləri, stolun yerdəyişməsi müxtəlif qiymətlərdə hazırlanıb. Dəzgahlarda pəstahın yerləşdirmə xətası $\pm 0,05/1000$ mm dəyişir. Emal məhsuldarlığını yüksəltmək məqsədi ilə hidroabraziv kəsmə dəzgahları bir neçə kəsici başlıqlarla təchiz olunmuşdur. Kəsici başlıqların yerləşdirilməsi sərbəst və yaxud bir-biri ilə kinematik əlaqəli də götürülə bilər. Dəzgahların bir neçə kəsici başlıqla təchiz olunması müxtəlif mürəkkəb kontura malik detalların istehsalının səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır.

WaterJet Sweden firmasının istehsal etdikləri hidroabraziv kəsmə dəzgahları standart 3 oxlu, bundan başqa 4 və 5 oxlu RPI dəzgahlarıdır. 4 və 5 oxlu RPI dəzgahları təbəqə materiallarından istənilən mürəkkəb profilə malik detalların istehsal olunmasını təmin edir. Eyni zamanda həcmi emal prosesini aparmaq üçün 5 koordinatlı su şırnağını istənilən bucaq altında verməklə hidroabraziv kəsmə texnoloji əməliyyatını aparmaq olur [92, s.913].

Aparılmış araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, müasir dövrdə qalınlığı 300 mm qədər təbəqə polad materiallardan maşın hissələrinin istehsalında hidroabraziv kəsmə dəzgahları maşınqayırma sənayesinin müxtəlif sahələrində müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur. Hidroabraziv kəsmə prosesi yüksək təzyiq altında verilən su şırnağı ilə aparıldığı üçün dəzgahın konstruktiv elementlərində temperatur gərginlikləri yaranmır. Kəsmə texnoloji prosesinin bu dəzgahda aparılması universal xarakter daşıyır, eləcə də kəsmə əməliyyatından başqa dəşmə əməliyyatını da yerinə yetirmək olur.

Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında detalların istehsal prosesini idarə olunan sistemlərlə yanaşı, əl ilə texnoloji rejimlərin sazlanması hesabına əməliyyatları yerinə yetirmək də mümkündür. RPI hidroabraziv kəsmə dəzgahları 3 oxlu və çox oxlu koordinatlarla dəqiq profilə malik maşın hissələrinin istehsalında yüksək məsuldarlıqlı emala imkan yaradır. Hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında emal edilən detalların dəqiqliyi $\pm 0,025$ mm-ə qədər təmin olunduğu üçün bu texnoloji proses və dəzgahlar istehsalatın müxtəlif sahələrində geniş miqyasda tətbiq oluna bilər.

Aparılan araşdırmalarla müəyyən edilmişdir ki, hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının xrom-nikelli polad pəstahlardan detal istehsalında tətbiq etmək üçün götürülmüş materialın hidroabraziv emalında səthin kələ-kötürlüyünün, ölçü dəqiqliyinin, kəsilmiş səthdə mikrobərəkliyin dəyişməsinin və digər məsələlərin tədqiqi maşınqayırmanın aktual problemlərindən biridir.

HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladlardan maşın hissələrinin hidroabraziv kəsmə dəzgahlarında emal texnoloji rejimləri geniş tətqiq olunmadığı üçün götürülən sahə üzrə tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsi imkan verir ki, bu kəsmə üsulu detalların istehsalında geniş tətbiq edilsin.

1.2. Hidroabraziv emal texnologiyasına həsr edilmiş elmi tədqiqat məlumatlarının araşdırılması

Hidroabraziv emal üsulu maşınqayırma sənayesinin müxtəlif sahələrində, o cümlədən avtomobil, təyyarə, gəmi, cihaz, elektrotexnika, kosmik avadanlıqların, raketlərin, müdafiə texnikalarının istehsalında tətbiq edilən progressiv mexaniki emal üsullarından biridir.

Hidroabrazivlə pəstahların kəsmə üsulu yuxarıda göstərilən istehsal sahələrində mürəkkəb profilə malik hissələrin istehsalında geniş tətbiq edilən texnoloji əməliyyatlardan biridir. Hidroabraziv kəsmə prosesində su şırnağının abraziv dənələrinin müxtəlif konsentrasiyasından ibarət olan qarışığın yüksək təzyiq və sürətlə emal olunan pəstahın səthinə müxtəlif üsullarla təsir etmə qabiliyyətinə malik kəsmə sxemlərdən istifadə etməklə texnoloji əməliyyatlar icra olunur.

Müxtəlif ölkələrdə çox saylı hidroabraziv emal dəzgahları texnoloji proseslərin tələbindən asılı olaraq fərqli sayda sənayedə avadanlıqlar istifadə olunur. Məsələn, Rusiya müəssisələrində 2004-cü ilə qədər müddətdə 20000-dən artıq hidroabraziv emal dəzgahları maşın hissələrinin istehsalında tətbiq edilir [75, s.1]. Tətbiq edilən hidroabraziv kəsmə dəzgahları müxtəlif idarəetmə sxemləri ilə, o cümlədən rəqəmli proqramla idarə olunan (RPI) qrupa aiddir. Tətbiq edilən dəzgahların texnoloji kəsmə sxemi özünün xüsusiyyətləri ilə fərqlənir. Bu xüsusiyyətlər əsasən emal olunan materialın həndəsi ölçülərinə, kəsilən materialın qalınlığına, emal olunan səthin keyfiyyətinə, kəsmə sürətinə, məhsuldarlığın tələb olunan səviyyədə təmin olunmasına və s. parametrlərə görə müxtəlif qruplara bölünür.

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, [38, s.63] təbəqə pəstahlardan detalların kəsilməsində pəstahın qalınlığı 300 mm qədər olduqda hidroabraziv kəsmə üsulu daha proqressiv və məhsuldar üsul sayılır. Çünki hidroabraziv kəsmə texnologiyası kontakt zonasına su şırnağı abrazivlə soyuq halda verildiyi üçün kəsmə zonasında alınan səthin keyfiyyəti yüksək olur. Lakin müəlliflərin qənaətinə görə [38, s.64], [86, s.893], [11, s.201-209] hidroabraziv kəsmə dəzgahını vaxtaşırı xidmətə və təmirə dayandırmaqla göstərilən texnoloji prosesin məhsuldarlığına nəzarət etmək lazımdır. Bu səbəbdən hidroabraziv kəsmə üsulu ilə maşın hissələrinin hazırlanmasında emal məhsuldarlığının yüksəldilməsi problemi həmişə öz əhəmiyyətini saxlayır. Bütün mexaniki emal üsullarında olduğu kimi, texnoloji prosesin məhsuldarlığı bir sıra amillərlə yanaşı, əsasən texnoloji əməliyyatın kəsmə rejimlərinin düzgün seçilməsində, emal edilən materialın fiziki-mexaniki xassələrinə uyğun gələn kəsici alətin materialının təyini və s. kimi texniki məsələlərin həlli aparılmalıdır.

Hidroabraziv kəsmə prosesində rejim parametrləri, su şırnağı ilə abraziv qarışığının emal zonasına verilmə təzyiqi, su şırnağının sürəti, abraziv dənələrinin materialı, dənəvərliyi, bərkliyi, kəsmədə veriş hərəkətinin sürəti, pəstahın yerləşdirmə problemləri və s. təsir edir. Hidroabraziv kəsmə əsas kəsici alət kimi su şırnağına qarışdırılmış abraziv dənələri olmaqla yanaşı, eyni zamanda su şırnağının diametrindən də asılıdır.

Hidroabraziv emalının xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, pəstahdan kəsmə dövründə çıxarılan metal yonqarlarının əmələgəlməsində erroziya prosesləri, abraziv dənələrinin metal səthinə təsirindən yaranan zərbə qüvvəsinin törətdiyi plastiki deformasiyaların və kontakt zonasındakı sürüşmə müstəvilərinin meydana gəlməsi ilə baş verir. Ona görə də göstərilən fiziki-mexaniki proseslərin hidroabraziv emalında öyrənilməsi bir çox alimlərin tədqiqat obyektinə olmuşdur.

E.Q. Korjovun [41, s.373] tədqiqatları su şırnağı ilə emal prosesində su axının diametri $0,08 \div 0,5$ mm olan müştüyün deşiyindən səs sürətindən yüksək olan (1000 və daha çox m/s) və işçi təzyiqi 400 Mpa və daha çox olan rejimlərdə aparılıb. Onun tədqiqatları dağ mədən işlərinin yerinə yetirilməsində tətbiq olunmaqla yanaşı qeyd edilir ki, su şırnağı vasitəsi ilə dəmir beton, qranit, mərmər və s. materiallarında emal etməyə imkan verir.

Hidroabraziv kəsmə üsulunda su şırnağına əlavə edilən abraziv dənələrinin sərfiyyatı emal olunan detalın materialından çox asılıdır. Aparılmış tədqiqatlardan [43, s.37] məlumdur ki, emal edilən detalın qalınlığından və materialından asılı olaraq su şırnağına qarışdırılan abraziv dənələrinin miqdarı 100-dən 600 qr/dəq həcmində sərfiyyatı olmalıdır. Təcrübələr yumşaq və az legirlənmiş poladların emalında aparıldığı üçün xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində bu istiqamətdə eksperimentlərin qoyulması və prosesin tədqiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Ona görə də HARDOX-500 markalı xrom-nikelli polad pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində abraziv dənələrinin sərfiyyatının tədqiq olunması əməliyyatın məhsuldarlığının qiymətləndirilməsində və tövsiyələrin hazırlanması üçün vacibdir. Mürəkkəb kontura malik detalların hidroabrazivlə emalında əməliyyatın yerinə yetirilməsini CAD-CAM sistemindən istifadə etməklə detal istehsalının məhsuldarlığını və dəqiqliyini yüksəltmək olar. Bu sistemlərin tətbiqi ilə pəstahın ixtiyari nöqtəsindən başlayaraq bütün əyrixətli səthləri emal etmək mümkündür. Ona görə də hidroabrazivlə mürəkkəb profilli maşın hissələrinin xrom-nikelli poladlardan istehsal səmərəliliyi digər mexaniki emala nisbətən yüksəkdir.

Nəzərə alsaq ki, hidroabraziv kəsmədə mürəkkəb kontura malik detalların istehsalında alınan səthlərin emal dəqiqliyinə təkcə kəsmə əməliyyatının kinematik

hərəkətləri arasındakı faktiki əlaqə ilə yanaşı, dəzgahların texniki parametrləri də təsir göstərir, onda bu kinematik hərəkətlərin modelləşdirilməsi və onların idarə olunması aktualıq kəsb edir.

Bir çox ölkələrin alimləri hidroabraziv kəsmə texnoloji prosesinin imitasiyalı modelləşdirilməsi probleminə həsr edilmiş məlumatlarda texnoloji prosesin bir sıra problemlərini həlli etmişlər.

Hidroabraziv kəsmə texnoloji prosesinin riyazi modelləşdirmə məsələləri [31, s.46-47], [27, s.62-63], [30, s.74-75] ədəbiyyatlarda öz əksini tapmışdır. Verilmiş ədəbiyyata əsasən [31, s.46] kəsmə prosesinin məhsuldarlığının artırılmasının metodoloji optimal yanaşmasını riyazi həll etməklə, yəni imitasiya modelləşdirilmə üsulunu tətbiq etməklə həlli məsələləri göstərilmişdir. Bunun əsasında modelləşmənin tətbiqi ilə hidroabraziv kəsmənin rejim parametrlərinin seçilməsinin proqnozlaşdırılması verilmişdir. Hidroabraziv emalın modelinin tərtib olunması texnoloji prosesin rejim parametrlərinin asılılıqları arasındakı riyazi əlaqələrdən istifadə etməklə, dəzgahın konstruktiv parametrləri arasındakı kinematik hərəkətlərin hesablanması aparılaraq, texnoloji prosesin dəqiqliyi və məhsuldarlığı həll olunmuşdur. Tərtib olunmuş modelləşdirmənin proqramına əsasən, müştüyün oxu üzrə axan su şırnağının sürəti v_m , hidroabraziv şırnağın diametri $d_{şırnaq}$, abraziv dənələrinin emal olunan materiala girmə dərinliyini h_{max} , abraziv dənələrinin hər birinin zərbəsi nəticəsində çıxarılan metal qatının həcmənin emal prosesinin parametrlərindən asılılıq tələblərinə əsasən hesablanması qaydaları açıqlanmışdır. Göstərilmiş imitasiya modelləşdirilməsi bir çox xətlərlə hesablandığı üçün hidroabraziv kəsmə prosesinin geniş tədqiq olunmasını tələb edir. Bu xətlər sırasında imitasiya modelləşdirilməsində hidroabraziv kəsmə sxeminin seçilməsi tam aydınlığı ilə verilməməsi üzündən, alınmış riyazi ifadələrdə abraziv dənələrinin yonqarəmələgətirmə prosesinə təsiri kifayət qədər açıqlanmayıb.

Tədqiqatçılar qeyd edir ki, hidroabraziv kəsmə prosesində su abraziv şırnağı zərbə ilə kəsilən səthə təsir edərək, onun həndəsi parametrlərinin ardıcıl olaraq mikrokəsmə, erroziya, yerli gərginliklərin tez-tez dəyişməsi hesabına formalaşması gedir. Götürülmüş təzyiqlərə əsasən, hidroabraziv kəsmə texnologiyasında gedən fiziki

prosesləri ayrı-ayrı modellərə ayıraraq, ümumləşdirilmiş nəticə əldə etmək olar [81, s.107-108], [23, s.1-2]. Müəlliflər hidroabraziv emalında aşağıdakı nəzəri məsələlərin modelləşdirilməsinin baxılmasını tövsiyə edirlər:

- verişin istiqamətinin iki ölçülü modeli;
- verişin istiqamətinin üç ölçülü modeli;
- enerji balansının modeli;
- kəsmə zonasının formasının modeli;
- kəsmədə çıxarılan metal qatının və kəsmə dərinliyinin modeli;
- hidroabraziv emalda verilən su-abraziv şırnağının burulması modeli.

Təklif edilən modellərin işlənməsi və hidroabraziv kəsmə prosesinin rejim parametrlərinin hesablanması bir çox texnoloji amillərlə yanaşı, istehsal olunan maşın hissəsinin materialının, konstruktiv elementlərinin tətbiq sahələrinin və s. dəyişməsi ilə yeni tədqiqatların aparılmasını tələb edir. Çünki istehsal olunan maşın hissəsinin materialı dəyişdikdə, onu kəsmək üçün hidroabraziv emalın materialın fiziki-mexaniki xassələrinə uyğun abraziv kəsicilərinin bərkliyinin və digər xassələrinin seçilməsi, veriş hərəkətinin istiqamət və sürətinin təyin olunması, su-abraziv qarışığının verilmə təzyiqinin təyin olunması və s. problemlər həll olunmalıdır.

İstehsal olunan maşın hissələrinin emal dəqiqliyi, konturunun mürəkkəbliyinin və digər amillərin yenilənməsi, yuxarıda göstərilən hidroabraziv kəsmə texnoloji prosesi parametrlərinin geniş miqyasda nəzəri eksperimental tədqiqatı aparılmalıdır.

Ədəbiyyata əsasən, müəlliflər [30, s.74] hidroabraziv kəsmə prosesində çıxarılan metalın yonqarəmələgəlmə rejim parametrlərindən asılı olaraq, eksperimental tədqiqatların aparılmasını və onun nəticələrinin emalını informasiya texnologiyaları əsasında həll etmişdir. Burada tərtib olunmuş proqramı “JET of Hope” intellektual məlumat sistemindən istifadə etməklə, hidroabraziv kəsmə prosesinin rəşional parametrlərini, o cümlədən suyun texniki vəziyyətini, emalın texnoloji amillərinin korreksiya etməklə kəsmənin modelini yaratmışdır. Onun yaratdığı kontakt zonasında imitasiya proqramına əsasən, abraziv dənələrinin yonqarəmələgətirmə qrafikini müxtəlif sxemlə verilən su-abraziv şırnağının axma sxemindən asılı olaraq təyin olunmuşdur. Müəllif belə nəticəyə gəlmişdir ki, hidroabraziv kəsmə prosesində su

şırnağının diametri 0,127- dən 0,2285 mm-ə qədər artması nəticəsində kontakt zonasında hidravlik-dinamik təzyiq Haus əyrisi üzrə azalır, bu da çıxarılan metal qatının həcmnin azalmasına təsir edir. Eyni zamanda, müəllif tərəfindən hidroabraziv emalında abraziv dənələrinin sərfiyyatından asılı olaraq polad 30XГСА və polad 20-də kəsmədə abraziv dənələrinin çıxarılan yonqarın həcmnin dəyişməsi məsələləri də qrafik şəkildə verilmişdir [30, s.75].

Hidroabraziv kəsmə prosesini digər mexaniki emaldan fərqləndirən cəhətlərdən biri onun universal olmasıdır. Məsələn, fasonlu səthlərin torna emalında formaya uyğun gələn kəsən tiyəsi olan alətlə texnoloji proses yerinə yetirilir. Yaxud frezləmədə, dartmada və s. əməliyyatlarda emal olunan detalın səthinin həndəsi formasına uyğun kəsici alətlərdən istifadəsi tələb olunur. Bu halda, kəsici alətin özünün emal olunan səthə uyğun hazırlanması mürəkkəb, bahalı texnoloji proseslərdən keçir. Bir çox hallarda fasonlu kəsici alətlər xüsusişdirilmiş olur ki, onların digər formalı detalların istehsalında tətbiq edilməsi mümkün olmur. Hidroabraziv emalda isə kəsici alətin (su-abraziv qarışığı) forması sabit şəkildə olmaqla, müxtəlif kontura və formaya malik maşın hissələrinin kəsilmə prosesini həyata keçirə bilir [119, s.245-246].

Su-abraziv şırnağı ilə bir sıra materialların, o cümlədən çətin emal olunan polad və digər materialların, məsələn xrom-nikelli, titanlı, yüksək möhkəmliyə malik keramik materialların və s. emal etmək olur. Hidroabraziv emalda fasonlu qalınlığı kifayət qədər çox olan detalların istehsalında tətbiq edilməsi onun universal texnoloji proses kimi sənayedə geniş tətbiq olunmasına səbəb olmuşdur.

Yuxarıda göstərilən müsbət cəhətləri ilə yanaşı, hidroabraziv emal prosesinin çatışmayan bəzi cəhətləri də mövcuddur. Hidroabraziv dəzgahlar çox mürəkkəb və səmərəli konstruksiyası olan yüksək təzyiq nasosları ilə təchiz olunmalıdır. Dəzgahların maya dəyəri yüksəkdir, böyük istehsal sahələrini əhatə edir. Ümumi halda, hidroabraziv kəsmə dəzgahları digər mexaniki emal dəzgahlarından təcrid olunmuş sahədə qurulur. Dəzgah koordinatla irəliləyən stola və müvafiq intiqallara malik qurğudur. Hidroabraziv kəsmə dəzgahları müxtəlif səviyyədə universal və avtomatlaşdırılmış olur.

Sənayedə hidroabraziv kəsmə dəzgahlarının tətbiqini maşın hissələrinin istehsalında genişləndirmək üçün hidroabraziv kəsmə əməliyyatının emal edilən səthin keyfiyyət parametrlərini təmin edən rejimlərin öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu cəhətdən M.A. Tamarkin və başqaları tərəfindən [78, s.1], [80, s.308], [79, s.104-105] aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticələri xeyli maraq kəsb edir. Bu ədəbiyyatda məsələnin qoyuluşu qalınlığı çox olan aviasiya materialının hidroabraziv kəsmə üsulunun səmərəliliyinin yüksəldilməsinə həsr edilmişdir [79, s.104]. Təcrübələr Flow firmasının hidroabraziv kəsmə dəzgahında 3 müxtəlif növ materialların kəsilməsində 400 MPa təzyiq ilə emala baxılmışdır. Abraziv dənələri 80 mkm ölçüdə götürülmüş və kəsmə prosesi $5\div 120$ mm/dəq veriş sürəti ilə həyata keçirilmişdir. Detalların nümunələri D16 markalı alüminiumdan və kompozit materiallardan götürülərək hazırlanmışdır. Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, yumşaq materialları hidroabraziv ilə kəsmə zamanı kəsiyin kələ-kötürlülüyü [79, s.106] bərk materiallardan alınan kələ-kötürlülüyə nisbətən çox olur. Məlum olmuşdur ki, 30XГCA markalı polad nümunələrinin qalınlığı 30 mm götürüldükdə, veriş hərəkətinin müxtəlif sürətlərində alınan səthin həndəsi xətalı və forması kəskin fərqlənir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, veriş hərəkətinin sürəti $5\div 40$ mm/dəq hədlərində alınan kəsilmiş səthin kələ-kötürlülüyü və həndəsi forması qənaətbəxş olur. Veriş hərəkətinin sürəti $85\div 120$ mm/dəq yüksəldikdə, kəsilmə səthində dalğavarilik artır və pilləli qanovlar əmələ gətirir.

Hidroabraziv kəsmə üsulunda alınan səthin forma xətalı, onların kələ-kötürlüyü maşın hissələrinin istehsalının əsas tələblərindən biridir. Yəni, hidroabraziv emal üsulu detalların cizgisində verilmiş müsaidə sahələri, dəqiqlik, keyfiyyət və kələ-kötürlük tələbləri daxilində istehsal olunmalıdır. Aparılmış elmi-tədqiqat işlərinin araşdırılması göstərmişdir ki, hidroabraziv emal prosesində maşın hissələrinin keyfiyyətinə təsir göstərən texniki-texnoloji amillər çoxdur və ona görə də seçilən texnoloji prosesin geniş tətbiqi maşınqayırmanın önəmli məsələlərindən biridir.

Ədəbiyyat materiallarının araşdırılması göstərmişdir ki [79, s.104], [32, s.60], [50, s.235-236] hidroabraziv emalın maraqlı istiqamətlərindən biri kəsmə zamanı səthdə formalaşan kələ-kötürlüklərin riyazi tənliklərinin nəzəri və praktiki həlli bir çox problemlərin icrasını aydınlaşdırı bilər. Bu baxımdan, [78, s.1] ,[79, s.104] ədəb-

iiyyatlarda hidroabraziv kəsmədə kələ-kötürlüyün formalaşmasının nəzəri həlli xeyli maraqlı kəsb edir. Müəlliflər [79, s.111] təcrübədən alınmış tədqiqat nəticəsinə əsaslanaraq, veriş hərəkətinin sürətinin dəyişməsi nəticəsində kələ-kötürlüyün riyazi modelini vermişlər. Bunun üçün hidroabraziv kəsmədə hər bir abraziv dənəsinin metalın səthində buraxdığı izin H_{yc} dərinliyini təyin etmişdir. Onlar göstərmişlər ki,

$$H_{yc} = H_0 \sqrt{L_{eg}/0.32} h_{max} Z_0 \quad (1.2.1)$$

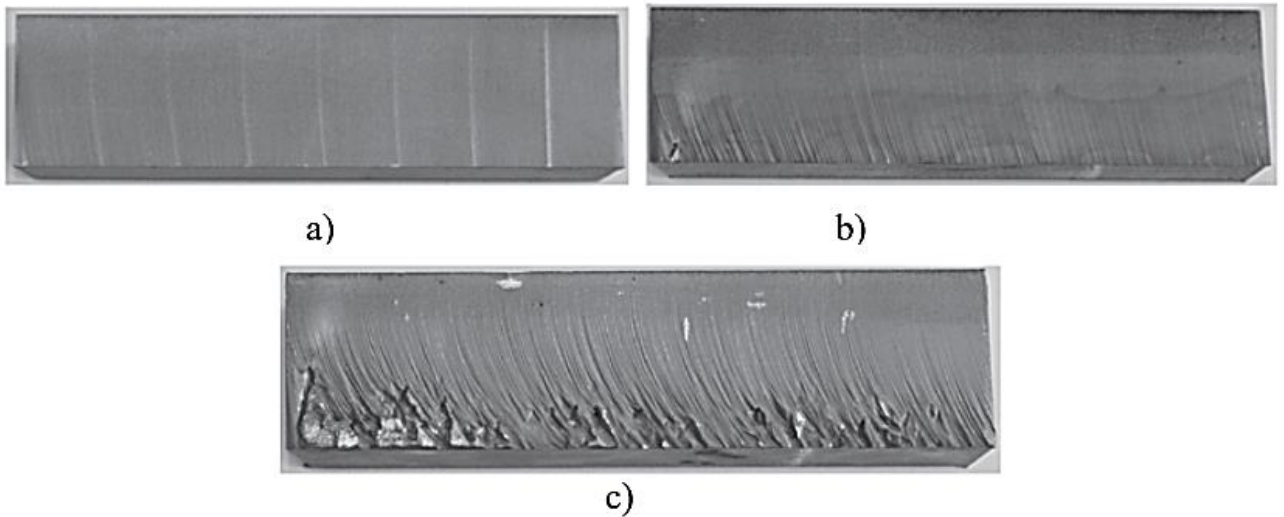
burada H_0 – kələ-kötürlülüyn dərinliyi fərqi;

L_{eg} – normal kəsikdə izin uzunluğu;

Z_0 – bir kvadrat sahədə təsir edən abraziv dənələrin sayı;

h_{max} – dənələrin maksimum girmə dərinliyidir.

Müəllifin apardığı tədqiqatlar zamanı hidroabraziv kəsmədən sonra alınmış səthin xüsusiyyətləri vizual olaraq şəkil 1.2.1-də verilmişdir.



Şəkil 1.2.1 Verişdən asılı olaraq (sağdan sola) qalınlığı 30 mm olan 30XГCA poladdan hazırlanmış nümunələrdə kəsilmiş səthlərin görünüşü [79, s.106].

a)-veriş 5-dən 40 mm/dəq-yə qədər; b)-veriş 45-dən 80 mm/dəq-yə qədər ;

c)-veriş 85-120 mm/dəq y-ə qədər

Aparılmış hesablamalarda kələ-kötürlüyün şərti hündürlüyü və orta kvadratik meyillənmələri nəzərə alınaraq müəyyən edilmişdir:

$$H_{yc}=0.88\sqrt{L_{eg} * h_{max}}/z_o \quad (1.2.2)$$

$$R_a=7.2\sqrt{L_{eg} * h_{max}}/z_o \quad (1.2.3)$$

burada R_a – kələ-kötürlülüyün orta hündürlüyüdür.

Alınmış ifadələrin təhlili göstərir ki, hidroabraziv kəsmə prosesinin bir çox rejim parametrləri nəzərə alınmadan tənliklər çıxarılmışdır ki, ona görə də bu tənliklərin yeni yanaşma ilə hesablanması vacibdir. Ədəbiyyat materiallarının araşdırılması göstərmişdir ki, bir çox tədqiqatlar hidroabraziv emalı prosesinin optimallaşdırılmasında abraziv dənələrinin su şırnağında miqdarını nəzərə alaraq, məsələlər həll edilmişdir [12, s.1], [99, s.45], [13, s.71], [18, s.22].

Abraziv dənələrinin miqdarının və materialın götürülməsi hidroabraziv ilə kəsmədə yaranan dəqiqlik və kələ-kötürlülük amillərinin proqnozlaşdıraraq istehsal olunan detalların keyfiyyəti haqqında mülahizələr yürütməyə imkan verir. A. A. Barzov [12, s.1] göstərmişdir ki, abraziv dənələrin su şırnağı ilə keçən müştüyün konstruksiyasından asılı olaraq, bir sıra fəsadlara gətirib çıxarır. O müəyyən etmişdir ki, [13, s.73] abraziv dənələrinin konsentrasiyası hidroabraziv emalda artdıqca su şırnağının sürəti azalır və abraziv dənələri bir-biri ilə zərbələr yaradaraq yonqarçıxarmanı ləngidir. Yəni, abraziv dənələrinin konsentrasiyası artdıqca məhsuldarlıq aşağı düşür. O, bu nəticəyə abraziv dənələrin zərbələrini akustik cihazlar vasitəsilə öyrənərək müəyyən etmişdir. Eksperimental tədqiqatlar Moskva Dövlət Universitetini Bauman adına Dimitrovdakı filialında yerləşən laboratoriyada MultiCam WaterJet Systems avadanlığında aparılmışdır. Dəzgah 2 kanallı akustik “Malaxit AC-15A/2” markalı sistemi ilə təchiz olunmuşdur, eləcə də 4 kanallı “AKUP – 4110/1” osilloqrafı (Pico Technology firmasının) cihazı ilə təcrübələr qeydə alınaraq işlənmişdir. Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, AMr 26 ərintisini və polad

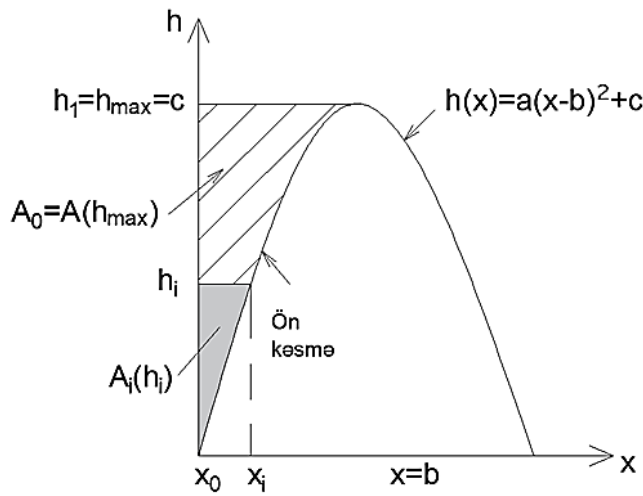
40X-nı hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal etdikdə, məhsuldarlığın yüksək qiyməti abraziv dənələrinin konsentrasiyasının $12 \div 15\%$ -ə qədər artımında müşahidə olunur.

Aparılan tədqiqatların nəzəri və praktiki nəticələri göstərir ki, hidroabraziv emal üsulunun maşın hissələrinin istehsalında texnoloji rejim parametrlərinin riyazi modelləşdirilməsinin ümumləşdirilmiş yanaşması verilməmişdir. Bu səbəbdən bir çox məqalələrdə alınmış praktiki nəticələrin uzlaşdırılmasında müəyyən çətinliklər yaranır. Ona görə də, hidroabraziv emal prosesinin fiziki mahiyyəti, su-abraziv qarışığının yüksək təzyiq və sürətlə kəsmə zonasına verilməsində yaranan proseslərin modelinin araşdırılmasının aparılması vacib proseslərdən biridir. Yəni, abraziv dənəsi sorularaq, yüksək təzyiqli su şırnağına qarışdıqda kamerada abraziv dənələrinin bir-biri arasındakı qarşılıqlı kinematik hərəkətlərin hidroabraziv ilə kəsmə prosesinə təsirinin öyrənilməsi bir çox texnoloji problemlərin həllinə imkan verir. Hidroabraziv kəsmədə abraziv dənələri su şırnağı ilə kontakt zonasında emal olunan materiala təsir edərək yonqar əmələ gətirir, bu halda çoxsaylı abraziv dənələri kəsilən səthdə zərbənin yaranmasına səbəb olur ki, bu da materialın səthində metal qatın qoparılaraq su vasitəsi ilə kənara axıdılması ilə baş verir. Kəsmə zonasında emal edilən səthlərdə yonqarəmələgəlmənin izləri, səthin dalğavariliyi yaranır ki, onların ölçülərinin tədqiqi hidroabrazivin emalının dəqiqlik imkanlarının qiymətləndirilməsinə, digər mexaniki emal texnoloji proseslərin tətbiqinə aid tövsiyələrin hazırlanmasına şərait yaradır.

Hidroabraziv kəsmə üsulunda emal olunan və istehsal edilən maşın hissəsinin mikrostrukturunun formalaşması sərbəst hərəkət edən abraziv dənələri vasitəsi ilə əmələ gəlir. Eyni zamanda, hidroabraziv emalında abraziv dənələri kəsilmiş səthdə kələ-kötürlüyü formalaşdırır. Hidroabraziv emalında kəsikdə yaranan kələ-kötürlüyün formalaşması pəstahın konstruksiyasından asılıdır. Kontakt zonasının formasına V.V. İvanov, D.S. Tebyakina, [32, s.60-63] hidroabraziv ilə kəsmədə kontakt zonasının formasının $h(x)$ parabolik əyri üzrə olduğunu və onun modelinə əsasən hesabatın aparılmasını təklif etmişlər (qrafik 1.2.1).

Göstərilən kəsiyin formasına uyğun, kəsmə dərinliyindən asılı olaraq V.V.İvanov, D.S. Tebyakina, [32, s.60-63] hidroabraziv emalda kontakt zonasında səthlərdə

yaranan abraziv dənələrinin ştrix izlərinin hündürlüyünü aşağıdakı düsturla hesablamağı təklif edirlər.



Qrafik 1.2.1 Hidroabraziv kəsmədə kontakt zonasının parabolik əyri üzrə forması

$$h(x) = a(x-b)^2 + c,$$

burada a, b, c – ölçmə zamanı alınan əmsallardır [29, s. 62].

$$c = h_{\max} \text{ və } b = x_{\max};$$

$$a = \frac{-c}{b^2} = \frac{-h_{\max}}{x_{\max}^2}.$$

Müxtəlif $x_{\max}$ və $h_{\max}$ hədlərini kəsilən səthin istənilən nöqtəsində ölçmələr vasitəsi ilə tapmaq olar. Əyridə alınan hündürlük kəsmə dərinliyini ifadə edir. Hündürlüyün maksimal qiyməti $dh/dx=0$ halına uyğun gəlir.

Hidroabraziv kəsmə prosesində maraqlı məsələlərdən biri abraziv dənələrinin kiçik bucaq altında emal səthinə zərbəsindən yaranan erroziyada çıxarılan emal payının təyin olunmasıdır. V.V. İvanov, D.S. Tebyakina, M.Hashish, J. Zeng və başqaları [32, s.62], [96, s.1675], [122, s.162-163] qeyd olunan məsələyə baxaraq göstərilmişlər ki, abraziv

dənələrini kiçik bucaq altında kəsilən səthə zərbə etdikdə yaranan erroziyadan çıxarılan materialın həcmi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar [32, s.62]:

$$dV_M = \frac{7}{\pi} \left[\frac{R_f^3 \cdot dm_A}{\rho_p} \right] \left[\frac{V_p}{V_c} \right]^{2,5} \cdot \sin \varphi \sqrt{\sin \varphi} \quad (1.2.4)$$

$$dV_m = \frac{-c}{b^2} = \frac{-h_{\max}}{x_{\max}^2},$$

burada R_f – kələkötürlülüyn parametri;

ρ_p – abraziv sıxlığı;

m_A – abrazivlərin sərfiyyatı;

V_p – abraziv dənələrinin sürəti;

φ – subabraziv qarışığının düşmə bucağı;

V_c – abraziv dənələrinin sürəti xarakteristikasıdır.

Buradan

$$V_c = \sqrt{\frac{3\sigma_f \cdot R_f^{3/5}}{\rho_p}} \quad (1.2.5)$$

tapmaq olar.

Düsturda verilmiş σ_f bərklik həddi müəlliflər tərəfindən təklif edilən tənliklərdə hidroabraziv emalda su-abraziv qarışığına təzyiqi, eləcə də kəsmədə veriş hərəkətinin sürəti nəticəsində alınmadığı üçün təklif olunan riyazi ifadələrin təkmilləşdirilməsi tələb olunur. Məlumdur ki, hidroabraziv emalda su şırnağının parametrləri (sürəti və təzyiqi) kəsilən metalın səthində dəyişərək azalır. Bu parametrlərin azalmasının texniki və fiziki mahiyyətini, eləcə də hədlərini təyin etməklə hər bir abraziv dənəsinin yaratdığı erroziya kəsilən metal qatının miqdarının dəqiq hesablanmasına imkan yaradır. Hidroabraziv emalda su-abraziv qarışığının müştüyün çıxışında aldığı sürət və təzyiq emal olunan metalın səthinə dəydikdə bu amillər azalır, su şırnağı səthə yayılır və kəsilən səthə abraziv dənələrinin kəsmədə xüsusi təzyiqi kiçilir, bunun nəticəsində kəsmə prosesini texnoloji dəyişir. Bu səbəbdən emal edilən səthin keyfiyyət parametrlərinin azalmasına gətirib çıxarır.

Hidroabraziv emal prosesi ilə kosmik aparatların hissələrinin istehsal problemləri [91, s.27], [37, s.101] verilən ədəbiyyatda öz əksini tapmışdır. Müəlliflərin araşdırmaları panellərin kəsilməsində keyfiyyət amillərinin həllinə əsaslanaraq, hidroabraziv kəsmədə su şırnağının hərəkətinin dəyişməsinin yaranan səthin forma xətlərinin öyrənilməsinə yönəlmişdir. Su şırnağını yüksək təzyiqlə müxtəlif bucaq altında pəstahların səthinə vurmaqla ($0\div 45^\circ$) onun istiqamətinin dəyişməsi nəticəsində alüminium təbəqələrdə yaranan xətləri müəyyən etmişlər. Məlum olmuşdur ki, çox təbəqəli lövhələrin hidroabraziv kəsilməsində üst təbəqələrdə su şırnağı trayektoriyası düzgün istiqamətləndiyi halda aşağı təbəqələrdə trayektoriya dəyişir. Bu cəhətdən yüksək dəqiqliyə malik panellərin kəsilməsini bir yerdə yox, ayrı-ayrılıqda kəsmək daha məqsədə uyğun hesab etmək olar.

Elmi-tədqiqat materiallarının araşdırılması göstərmişdir ki, bir çox məqalələr adi keyfiyyətli konstruksiya poladlarının hidroabrazivlə emalında yaranan səthlərin şəkillərinin müqayisəsi ilə kəsiyin səthinin keyfiyyəti haqqında mülahizələr yürütmək olar. Burada hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin kələ-kötürlüyünün morfoloji sürəti və onların analizi əsasında kələ-kötürlüklərin dəyirmiliyi əmsalları, gətirilmiş diametrin və kələ-kötürlüklərin qiymətlərinin su şırnağının kəsik üzrə sürətinin dəyişməsinin təsirindən alınan asılılıqları tapılmışdır.

Müəlliflər, A.M. İqnatova, S.K. Balabanov, M.N. İqnatov [35, s.87] müəyyən etmişlər ki, kəsilmiş səthlərdə müxtəlif formalı kələ-kötürlüklər yaranır, səthlərdə mikroqanovlar, çıxıntılar müşahidə olunur. Müşahidə olunan xətlərin həndəsi ölçülərinin öyrənilməsi əsasında adi keyfiyyətli poladların kəsilməsinin rejim parametrlərini proqnozlaşdırmaq olur. Üç ölçülü vizual tədqiqatlar ilə hidroabraziv kəsmədə yaranmış xətlərin təyini imkanları bu məqalədə öz əksini tapmışdır.

Hidroabraziv kəsmə üsulunda su şırnağı və abraziv dənələrinin emal olunan metalın səthinə müəyyən bucaq altında vurulması kəsmə prosesinin rejim parametrlərinin idarə olunmasına, eləcə də kəsilmiş səthin həndəsi formasının alınmasına, meyillənmələrin yaranmasına təsiri böyükdür. Bu baxımdan aparılmış tədqiqatlardan [18, s.22-32] müəllif hidroabraziv emalda kəsmə əmsalını müəyyən etmək üçün su-abraziv qarışığını emal olunan səthə müxtəlif bucaq altında vurmaqla, kəsmədə yaranan

toxunan qüvvənin emal səthinə nəzərən normal təzyiqə olan nisbətini əyrixətli səthlər üçün tədqiq etmişdir. Aparılmış tədqiqatlar bir faktorun dəyişməsi ilə öyrənildiyi üçün alınmış nəticələrin çox faktorlu təcrübələrdə öyrənilməsi daha dəqiq məlumatların əldə olunmasına imkan yaradır. Baxmayaraq ki, müəllif digər tədqiqatlarında nəzəri-eksperimental təcrübələrdən istifadə edərək abraziv dənələrinin kütləsi ilə suyun sərfiyyatının həcmnin götürülmüş təzyiqdən və alətin irəliləmə hərəkətinin sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq emal olunan səthin dərinliyinə, yaranan yarığın formalaşmasına sərf edilən enerjinin miqdarına və s. amillərə baxmışdır [18, s.22-23]. Lakin bu tədqiqatlar tətbiq edilmiş abraziv materialı, onun dənəvərliyi haqda məlumatların verilməməsi alınmış nəticələrin optimallığı istiqamətində mülahizə yürütməyə imkan vermir.

Hidroabraziv kəsmə prosesində emal olunan materialın tərkibindən asılı olaraq rejim parametrlərinin, su-abraziv qarışığının kontakt zonasına verilmə bucağının, abraziv dənələrinin ölçülərinin, eləcə də onun sərfiyyatının, abraziv dənələrinin səthə verilmə sürət və təzyiqinin, kəsmədə veriş hərəkəti sürətinin təyin olunması və s. kimi texnoloji faktorların optimallaşdırılması həll olunmalıdır. Bu səbəbdən HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladdan hazırlanan maşın hissələrinin hidroabraziv emalına həsr olunmuş elmi-tədqiqat materialları kifayət qədər yoxdur. Ona görə də seçilmiş polad pəstahların hidroabraziv üsulla kəsilməsi prosesinin öyrənilməsi imkan verər ki, texnoloji prosesin konkret rejim parametrlərindən asılı olaraq kəsmədə alınan səthlərin tələb olunan keyfiyyət amillərini təmin edə bilən kəsmə sxemi, abraziv materialı və onun dənəvərliyi, kəsmə sürəti, su-abraziv qarışığının sərfiyyatı, təzyiqi və sürəti optimallaşdırılsın.

Mövcud elmi-tədqiqat işlərinin araşdırılması göstərmişdir ki, sənayedə hidroabraziv kəsmə əməliyyatını digər fiziki əməliyyatlarla yanaşı, məsələn emal olunan metala elektrik cərəyanı verməklə kəsmə prosesi aparılması tövsiyə edilir [68, s.71], [40, s.120], [66, s.118]. Müəlliflər müəyyən etmişlər ki, yumşaq materialları hidroabraziv üsulu ilə kəsdikdə abraziv dənələri sürətlə piylənərək şar şəklinə düşür, bu da abraziv dənələrinin kəsmə qabiliyyətini aşağı salır və nəticədə emal olunan səthin keyfiyyəti azalır. Ona görə də hidroabraziv emalda kəsilən yumşaq metala elektrik

sahəsi verməklə abraziv dənələrinin piylənməsinin qarşısı alınır ki, bunun nəticəsində keyfiyyətli səthə malik kəsmə prosesi icra olunur. Qalınlığı 12 mm olan aliminium təbəqəsinin [67, s.74-77] *PTV WJ3020E 1Z- D 37* modelli hidroabraziv kəsmə dəzgahında su şırnağının təzyiqi 415 Mpa altında kəsmə prosesi aparıldıqda kəsilən qatın girişində səthin mikrobərkliyi 132% olduğu halda, kəsiyin çıxışında 139% -ə çatır və mikrobərkliyin dəyişməsi emal edilən materialın 0,12 mm qalınlığına qədər yayılır. Elektrik səthində hidroabraziv emal zamanı verilən su şırnağının texnoloji parametrlərinin dəyişməsi nəticəsində yaranan kəsmə prosesi tədqiq olunmuşdur [40, s.120]. Müəlliflər, O.N. Kirillov, V.P. Smolentsov müəyyən etmişlər ki, hidroabraziv kəsmə prosesində elektrik sahəsinin yerləşdirilməsi abraziv dənələrinin idarə olunması və yonqarəmələgəlməni idarə etməklə müsbət nəticələr əldə etmək olur. Həmçinin onların təklif etdikləri hidroabrazivlə elektrik sahəsində kəsmədə su şırnağının həndəsəsi ölçülərinin və onların parametrlərinin formalaşması emal payının kimyəvi əriməsini (anod prosesi) idarə etməklə kəsilən səthin keyfiyyətini yüksəltmək olur.

Ədəbiyyat materiallarının geniş araşdırılması nəticəsində bir çox texnoloji parametrlərin emal olunan materialdan asılı olaraq təyin olunması kifayət qədər aparılmağına baxmayaraq bəzi texnoloji problemlər öz həllini tapmamışdır. Ona görə də hidroabraziv emalda texnoloji prosesin parametrlərinin təyinatının təhlili, abraziv materialının seçimi (kəsilən materialdan asılı olaraq), kəsmə prosesində emal olunan səthin kələ-kötürlüyünün, dalğavariliyinin və xətalərin formalaşmasının öyrənilməsi çox vacib amillərdən biridir.

1.3. Hidroabraziv emal texnoloji prosesinin parametrlərinin seçilməsinin araşdırılması

Mürəkkəb profilə malik maşın hissələrinin hidroabraziv kəsmə üsulu ilə formalaşdırılmasında texnoloji amillərin seçilməsi və təyin olunması istehsal olunan detalın həndəsi forması, ölçülərinə qoyulan dəqiqlik, kələ-kötürlük, forma xətaləri ilə yanaşı onun materialının tərkibindən, fiziki-mexaniki xassələrindən də asılıdır. Maşın

hissələrinin hidroabraziv emal prosesində istehsalın səmərəliliyinin əldə olunması texnoloji əməliyyatının rejim parametrləri aşağıdakılardan ibarətdir.

- emal edilən material: tərkibi, qalınlığı və s.;
- su şırnağının təzyiqi;
- su şırnağının kəsmə zonasına verilmə sürəti;
- abraziv materiallarının tərkibi;
- abraziv materiallarının dənəvəriliyi;
- abraziv materialının bərkliyi;
- abraziv materialının sərfiyyatı;
- su-abraziv qarışığının axma kanalının, müştüyün çıxışının diametri;
- veriş hərəkətinin sürəti;

-su-abraziv qarışığının emal olunan kəsiyə vurulma sxemi (perpendikulyar və ya-xud müəyyən bucaq altında) və s. göstərilən amillərin təyin olunması maşın hissələrinin emalı üçün tətbiq edilən hidroabraziv dəzgahların konstruksiyasından, idarə etmə sistemindən asılı olaraq həll olunur.

Mürəkkəb profilə malik detalların hazırlanmasında onların xətti ölçüləri arasındakı riyazi asılılıqlarını dəzgah və alətin kinematik hərəkətləri ilə əlaqələndirərək kəsmənin rejim parametrləri müəyyən olunmalıdır. Bu səbəbdən, bir çox alimlərin tədqiqat obyekti olaraq hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal edilən maşın hissələrinin istehsalında rejim parametrlərinin təyin olunması nəzəri və eksperimental üsulların vəhdəti ilə aparılmışdır.

Aparılmış elmi tədqiqat işlərindən maraqlı məlumatlar [81, s.107], [40, s.63], [23, s.1], [7, s.60], [53, s.43], [33, s.20], [39, s.71], [118, s. 139], [104, s.177], [77, s.243], [74, s.15], [67, s.74], [25, s.154], [26, s.90], [28, s.18], [116, s.607], [76, s.1], [98, s.152-158], [73, s.64], [87, s.45] verilmişdir. Bir məqalədə maraqlı məqamlardan biri mürəkkəb profilli detalların hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emalında müştüyün [81, s.107] veriş hərəkətinin sürətinin dəyişməsinin kontakt zonasında gedən erroziyanın kəsilən metalın xaric olunmasına təsirinin nəzərdən keçirilməsidir. Müəllif belə qənaətə gəlmişdir ki, erroziya prosesinin hidroabraziv emalında intensivliyi (J^0) vahid zamanda çıxarılan metalın həcmi ilə ifadə olunur, yəni

$$J^0 = \frac{\Delta v}{S \cdot \Delta t} \quad (1.3.1)$$

Aparılmış tədqiqatlardan [82, s.63] məlum olmuşdur ki, hidroabraziv emalda kəsici alət olan su-abraziv qarışığının emal səthinə verilmə sürətinin səs sürətindən yuxarı səviyyədə verilməsi ilə kəsmə presesində yaranan səthlərin dəqiqliyi bir qədər azalır. Lakin yonqarəmələgəlmə prosesi sürətləndiyi üçün detalların istehsal məhsuldarlığı yüksəlir.

Bir çox müəlliflərin araşdırmaları göstərmişdir ki, [41, s.386], [14, s.9] kəsmə prosesinin fasiləsiz getməsi üçün emal olunan materialın tərkibindən asılı olaraq pəstahın və müştükdən çıxan su-abraziv qarışığının veriş hərəkətləri mütənasib seçilməlidir ki, emal məhsuldarlığı detalın tələb olunan keyfiyyət parametrlərini təmin etsin. Aparılmış eksperimentlərin nəticələrinə əsaslanaraq [41, s.386] müəllif polimer təbəqənin hidroabrazivlə kəsilməsində veriş hərəkətinin sürətini aşağıdakı asılılıqdan müəyyən etməyi təklif edir, yəni veriş hərəkəri S aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$S = 0,106 \left(\frac{p}{100} \right)^{2,7} = d_c^{-1,27} \cdot h^{-1,35} \left(\frac{\sigma_p}{100} \right)^{0,75} \quad (1.3.2)$$

burada p -su şırnağının təzyiqi, MPa;

d_c - müştüyün kanalının diametri, mm;

h -müştüklə emal olunan səth arasındakı məsafə, mm;

σ_p - materialın möhkəmliyi.

Təklif edilən (1.3.2) düsturda kəsmə prosesinin bir çox amilləri nəzərə alınmadığı üçün (məsələn , abraziv dənələrinin bərkliyi, dənəvərliyi və s.) riyazi asılılığın konkret detalların kəsilməsi üçün təkmilləşdirilməsi vacibdir.

Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə maşın hissələrinin istehsalında rejim parametrlərinin təyin olunmasında əsas kriteriyalardan biri kəsilmiş səthlərin mikronahamarlığı, yəni səthin kələ-kötürlüyüdür. Ona görə də, hidroabraziv emalda səthin kələ-kötürlüyünün formalaşmasına təsir göstərən amillərin nəzəri və təcrübi tədqiqatları öz həllini qismən də olsa tapmışdır [50, s.236]. Hidroabraziv emalda səthin mikroprofilinin, yəni

kələ-kötürlüyünün formalaşmasının riyazi modeli və təcrübi tədqiqatlarla kələ-kötürlüyün orta qiymətinin R_a -nın kəsici abraziv dənələrinin dənəvərliyindən, abraziv dənələrinin kəsmə səthinə düşmə sürətindən, su şırnağının təsir bucağından asılı olaraq dəyişməsi tədqiq olunmuşdur. Burada hidroabraziv emalda formalaşan mikrobərqliyi izotrop funksiyada, yəni $z=f(x,y)$ asılı olaraq təyin edilmişdir. Nəticəyə görə təklif edilən hesablama üsulu hidroabraziv emalın modelləşdirilməsini asanlaşdırır. Qəbul olunmuşdur ki, abraziv dənələri mütləq möhkəmdir, onların zərbə təsirindən parçalanmaması, dənələrin radiusu R kürə şəklindədir, emal olunan detalın səthi yarımfəzada özü plastikliyə malikdir [50, s.236-237].

Müəlliflərin qəbul etdiyi şərtlər daxilində emal olunan səthdə formalaşan mikroprofilin nəzəri tənlikləri işlənib. Nəzəri tənliklərin araşdırılması göstərmişdir ki, mikroprofilin orta xəttinin yerləşmə mövqeyi Δh alınmış ifadəni tam əhatə etmir [50, s.238].

Məlumdur ki, hidroabraziv kəsmə üsulunda emal olunan səthdə kələ-kötürlüyün formalaşması bilavasitə abraziv dənələrinin ölçüsündən, onların kontakt zonasına verilmə sürətindən, su şırnağının axma bucağından çox asılıdır. Göstərilən amillərin kələ-kötürlüyün hidroabraziv emalda formalaşmasına təsiri bir çox tədqiqatçıların maraq dairəsində olmuşdur [68, s.71], [40, s.120], [81, s.107], [104, s.177], [25, s.154], [28, s.18]. Tədqiqatlardan məlum olunmuşdur ki, [68, s.71] abraziv dənələrinin kontakt zonasına zərbə ilə təsiri nəticəsində səthin kələ-kötürlüyü formalaşır və bu halda bir çox faktorların təsirindən materialda plastiki deformasiya, mikrokəsmə və kövrək dağılma baş verir ki, onların da təsirindən kəsilən səthin mikroprofili meydana gəlir. Verilən tədqiqat materialında abraziv dənələrinin bərqliyi, dənəvərliyi və s. amillərin kələ-kötürlüyə təsiri məhdud təcrübələrlə öyrənilmişdir.

Araşdırmalardan [81, s.107-108] məlum olmuşdur ki, müxtəlif materialların hidroabraziv emalda kəsilən səthin mikroprofilinin parametrlərinin formalaşması abraziv dənələrinin materialından və bərqliyindən çox asılıdır və onları nəzərə alaraq kələ-kötürlüyün parametrləri nəzəri həll edilmişdir.

Tədqiqatçıların [50, s.239] apardıqları eksperimental təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, hidroabraziv emalında kəsici abraziv dənələrinin ölçülərinin 10 mkm-dən

60 mkm-ə qədər artırılması ilə həm nəzəri tənliklərlə alınmış kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü R_a , həm də təcrübələrdən alınmış R_a -nın praktiki hündürlüyü yüksəlir. Təcrübələr BT9 və 3KC6Φ odadavamlı ərintilər üzərində aparılmışdır. Kələ-kötürlüyün hündürlüyünün orta qiymətinin artması abraziv dənələrinin emal səthinə vurulmasının müxtəlif sürətlərində müşahidə olunmuşdur. Abraziv dənələrinin emal olunan səthə vurulma sürətinin kələ-kötürlüyə təsiri 10, 20 və 32 mkm ölçüyə malik abrazivlərlə aparılmışdır. Hər üç halda abraziv dənələrinin sürətinin $45 \div 100$ m/san artırıdığında kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün artması müşahidə olunur. Müəlliflər göstərilən nəticələrin abraziv dənələrinin kəsilən metalın səthinə batma dərinliyinin artması ilə izah edirlər.

Maraqlı məqamlardan biri su şırnağının (abrazivlə birlikdə) emal olunan səthə vurulma bucağının seçilməsidir. Su şırnağının vurulma bucağını 15° dən 45° -yə qədər artırıdığında kəsilən səthin kələ-kötürlüyünün orta qiyməti $1,8 \div 2$ dəfə yüksəlir. Alınmış nəticə abraziv dənələrinin su şırnağı ilə verilmə bucağının dəyişməsinin abraziv dənələrinin kəsilən metalın səthinə batma dərinliyinin dəyişməsi ilə əlaqələndirirlər. Su şırnağının verilmə bucağı $45 \div 90^\circ$ arasında dəyişdikdə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün artması $15 \div 20\%$ təşkil edir.

Buna bərabər tədqiqatlar [77, s.243], [67, s.74] qeyd edilən ədəbiyyatlarda da öz yerini tapmışdır. Lakin araşdırılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, emal olunan detalın materialının tərkibi, fiziki-mexaniki xassələrinin dəyişməsi hidroabraziv kəsmədə formalaşan səthin mikronahamarlıqlarının tədqiqində bir-birindən fərqlənir. Ona görə də maşın hissəsinin konkret cizgisindən, onun ölçülərinə qoyulan dəqiqlik və kələ-kötürlük parametrlərindən asılı olaraq, hər bir polad material üçün tədqiq olunması, onların nəzəri tənliklərinin işlənməsi fərdi xarakter daşmalıdır. Bu onunla izah edilir ki, hər bir kəsilən poladların tərkibindən, fiziki-mexaniki parametrlərindən asılı olaraq kəsmə zamanı yonqarəmələgəlmənin fiziki mahiyyəti, kontakt zonasında baş verən plastik deformasiyaların dərinliyi və abraziv dənələrinin mikrokəsmə xüsusiyyəti fərqlənir. Ona görə də hidroabraziv kəsmə üsulu ilə maşın hissəsinin istehsalında, emal olunan səthin keyfiyyət amillərinin təmin olunması kəsmənin giriş parametrlərindən asılıdır.

Hidroabraziv emalda kəsilən səthin keyfiyyət parametrlərini yüksəltmək üçün su-abraziv qarışığının kəsmə qabiliyyətini artırmaq lazımdır [28, s.18]. Su şırnağının abrazivlə birlikdə kəsmə qabiliyyəti, ilk növbədə, tətbiq olunan abraziv dənələrinin materialının möhkəmliyindən, dənələrin forma və ölçüsündən, kəsici tiyələrin itiliyindən, su şırnağının kəsmə zonasına verilmə bucağından, müştüyün ucluğunun dəşiyinin diametrindən və bir çox amillərdən asılıdır. Ona görə də, yuxarıda qeyd edilən amillərin fiziki qiymətlərinin təyin olunması emal edilən maşın hissəsinin həndəsi forma və ölçülərindən, materialından asılı olaraq həll edilməlidir.

Ədəbiyyat materiallarının araşdırılması [7, s.60-67], [116, s.607-609] göstərmişdir ki, hidroabraziv kəsmə üsulunda kəsici alət kimi abraziv dənələrinin materialının seçilməsi əməliyyatın səmərəliliyinə bilavasitə təsir edir. Verilən tədqiqatların nəticələrinə əsasən [7, s.60-64], hidroabraziv emalda kəsmə prosesini icra etmək üçün abraziv materialı kimi qranat qrupuna aid abraziv dənələrindən istifadə etmək məsləhət görülür. Bu abraziv materialı Avstraliyada, Hindistanda, Cənubi Afrikada, Rusiyada, Azərbaycanda (Daşkəsəndə) və s. ölkələrdə mövcuddur. Yəni, bir sıra ölkələrdən idxal etməklə hidroabraziv kəsmə prosesi icra edilir. Hidroabraziv əməliyyatını kvars-abrazivlərlə aparmaq tövsiyə olunur. Tədqiqatların nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, kvars abraziv dənələri ilə hidroabraziv emal üsulunun səmərəliliyinin düzgün qiymətləndirilməsi üçün abraziv materiallarının tərkibinin seçilməsi sahəsində geniş tədqiqat işləri aparmaq lazımdır.

Hidroabraziv kəsmə əməliyyatının texnoloji amillərinin emal olunan səthin keyfiyyət parametrlərinə təsiri [76, s.1] ədəbiyyatda geniş aspektdə baxılmışdır. Müəlliflər göstərmişlər ki, hidroabraziv emalında praktiki olaraq kəsmə qüvvəsi özünü göstərmədiyi üçün emal səthində yaranan gərginliklər minimuma enir. Ona görə də, çətin kəsilən materialların emalında hidroabraziv kəsmə üsulu ən səmərəli mexaniki emal üsuludur.

Hidroabraziv materialların kəsilməsində formalaşan səthin keyfiyyət parametrlərinə kəsmə rejiminin, abraziv dənələrinin fiziki-mexaniki xassələrinin və s. texnoloji amillərin təsirinin öyrənilməsinin nəticələri [98, s.152-165], [73, s.64] ədəbiyyatlarda öz şərhini tapmışdır.

Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur:

1. Ədəbiyyat materiallarında HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsinə həsr edilmiş məqalələr praktiki olaraq yoxdur. Ona görə də HARDOX-500 markalı polad təbəqələrdən mürəkkəb konturlu maşın hissələrinin hidroabraziv emalının tədqiqi, kəsilən səthlərin fiziki-mexaniki xassələrinin dəyişməsinin öyrənilməsi, kəsmə prosesində səthin kələ-kötürlüyünün yaranmasının fiziki mahiyyətlərinin araşdırılması maraqlı elmi tədqiqat istiqamətlərindən biridir. Bundan əlavə, hidroabraziv kəsmə üsulunda pəstahın yerləşdirilməsində mövqe məsələlərinin həlli də baxılan ədəbiyyat materiallarında öz əksini tapmamışdır. Ona görə də qoyulan məsələnin emal prosesinin dəqiqliyinə, məhsuldarlığına və s.öyrənilməsi vacib istiqamətlərdən biri sayılır.

2. Hidroabraziv emalının tədqiqinə həsr edilmiş [87, s.45], [82, s.63], [83, s.163] ədəbiyyatlarda poladların və s. materialların emalında kəsmə prosesində səthin kələ-kötürlüyünün, dəqiqliyinin, bəzi keyfiyyət parametrlərinin alınmış nəticələri verilmişdir. Bu istiqamətdə səthin formalaşmasının nəzəri məsələlərinin həll olunmasına [14, s.9], [83, s.163] yönəlmiş problemlərdə xeyli tədqiqatlar mövcuddur. Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, hidroabraziv emalda kəsilən səthin kələ-kötürlüyünün formalaşmasının nəzəri tənliklərinin alınması [57, s.46] bir sıra şərtlər daxilində həll edilmişdir və bu şərtlərin təhlili göstərir ki, hidroabraziv emalında təsadüfi kəmiyyətlərin təyin olunması lazımdır. Məsələn, abraziv dənələrin su şırnağı daxilində hərəkət sürətləri, trayektoriyaları su damcılarının hərəkəti ilə eyniləşdirilmişdir ki, bu yanaşmada bəzi çatışmamazlıqlar mövcuddur [83, s.167]. Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki [83, s.167], su şırnağının emal olunan səthlə arası məsafəsi 3 mm götürməklə, müştüyün daxili deşiyinin diametri 0,4 mm olan su şırnağına abraziv dənələrinin sıxlığı 3500 kq/m^3 və suyun sərfiyyatı 4 litr/dəq olduqda su şırnağının diametrinin genişlənməsi baş verir ki, bunun da nəticəsində hidroabraziv kəsmədə kontaktın forması artır. Yəni, hidroabraziv kəsmə üsulunda pəstahın-detalın tərəflərinin formalaşmasında alınan həndəsi xətlərin dəqiqliyinin müəyyən olunması vacib amillərdən biridir.

Elmi-tədqiqat işlərinə həsr olunmuş məqalələrin [107, s.410], [68, s.71], [81, s.107], [14, s.9], [28, s.18], [50, s.235], [74, s.15], [86, s.892], monoqrafiyaların [75, s.1], [76, s.1] konfrans materiallarının [43, s.37], [27, s.62], [32, s.60], [25, s.154] araşdırılması göstərmişdir ki, mürəkkəb profilə malik detalların müstəvi tipli pəstahlardan hidroabraziv üsulu ilə istehsalında hissənin materialından asılı olaraq rejim parametrlərinin təyin olunması, texnoloji prosesin bir çox amillərindən asılı olaraq səthin dəqiqliyinin, xətti ölçülərin, səthin kələ-kötürlüyünün və dalğavarılığının, tədqiq olunan kəmiyyətlərin xətalalarının nəzəri və təcrübə üsulla işlənməsi imkan verir ki, HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladlardan hidroabraziv üsulla istehsal olunan mürəkkəb profilli detalların səmərəli texnoloji prosesi işlənilsin.

1.4. Dissertasiya işinin məqsədi və həlli tələb olunan məsələlər

Elmi-tədqiqat materiallarının araşdırılması nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, maşın hissələrinin müxtəlif markalı poladlardan hazırlanması fərqli texnoloji əməliyyatlardan keçməklə aparılır.

Texnoloji əməliyyatların bu və ya digər metalların emalında təyin olunması emal edilən materialın tərkibindən, kəsici alətin davamlılığından, emal səthinə qoyulan dəqiqlik, kələ-kötürlük, dalğavarilik tələbindən asılı olaraq həll edilir. Məlum olmuşdur ki, pəstahların kəsilməsi, mürəkkəb profilli detalların istehsalında hidroabraziv kəsmə üsulunun tətbiqi emal edilən səthin yüksək keyfiyyətlə əldə olunmasını təmin edir. Buna baxmayaraq hidroabraziv emal üsulunun tətbiqinin genişləndirilməsi sahəsində hələ də həll edilməmiş texniki-texnoloji problemlər mövcuddur. Həll edilməmiş problemlərdən biri HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın hidroabraziv üsulla emalı prosesinin tədqiqi, materialdan asılı olaraq kəsmə rejimlərinin təyin olunması və kəsmə texnoloji əməliyyatının çıxış parametrlərinin (səthin kələ-kötürlüyü, dalğavariliyi, forma xətalrı, bərkliyin formalaşması, ölçü meyillənmələri və s.) tədqiq olunmasıdır. Belə tədqiqatların nəticələri isə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladından istehsal edilən maşın hissələrinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi problemlərinin həll edilməsinə köməklik edər.

Beləliklə, dissertasiya işinin məqsədi HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladdan hazırlanan detalların hidroabraziv emal üsulu ilə kəsilməsində yaranan səthin fiziki-mexaniki xassələrinin dəyişməsinə, kələ-kötürlüyünün, dalğavarililiyinin, bərkliyin və detalın həndəsi ölçülərinin formalaşmasının nəzəri və eksperimental tədqiqidir.

Göstərilən problemlərin həll olunması aşağıdakı məsələlərin öyrənilməsinə tələb edir.

1. Xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində yonqarəmələgəlmənin xüsusiyyətlərinin nəzəri tədqiqi.

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

3. Hidroabrazivlə xrom-nikelli poladların kəsilməsində dalğavarililiyin yaranma mexanizminin texnoloji amillərdən asılılığının tədqiqi.

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).

.

II Fəsil. HİDROABRAZİV EMAL PROSESİNİN TEXNOLOJİ MƏSƏLƏLƏRİNİN NƏZƏRİ ARAŞDIRILMASI

2.1. Hidroabraziv emalda yonqar əmələgəlmə mexanizminin nəzəri araşdırılması

Çətin emal olunan materialların, o cümlədən xrom-nikell tərkibli HARDOX-500 markalı poladın hidroabrazivlə emalında yonqar əmələ gəlmə prosesinin nəzəri araşdırılması rejim parametrlərinin optimal variantlarının seçilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Su şırnağı ilə kəsmə prosesi Almaniyanın Standartlaşdırma İnstitutunun texnoloji proseslərin klassifikasiyasına görə (Deutsches Institut für Normung) qeyri-müəyyən həndəsi ölçüyə malik kəsici tiyə ilə emal prosesinə həsr edilmişdir [9, s.38-40], [130, s.1-5]. Bu texnoloji proseslərdə mexaniki emalın səmərəliliyi su şırnağının təzyiqindən, ona əlavə olunan abraziv dənələrin ölçüsündən, konsentrasiyasından, şırnağın metal səthinə düşmə bucağından və s. texnoloji amillərdən asılıdır. Ona görə də tədqiqatlarda abraziv dənələrinin həndəsi forma və ölçüləri, tiyələrin həndəsi bucaqları mikroskopda ölçülərək müvafiq bölmədə araşdırılmışdır [128, s.134-135], [117, s.175-177].

Hidroabrazivlə metalların kəsilməsi texnoloji prosesi abraziv dənələrlə zənginləşdirilmiş su şırnağının yüksək təzyiq və sürətlə kəsmə zonasına verilməsi ilə aparılır. Bu halda materialların kəsilməsinin fiziki mahiyyəti, o cümlədən HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın kəsilməsində yonqar əmələ gətirilərək onun kontakt zonasına (kəsmə zonasından) verilmiş su şırnağı abraziv qarışığı vasitəsilə nəql olunmasından ibarətdir [61, s.54-59], [9, s.39], [15, s.449-450], [16, s.1], [124, s.408-409]. Hidroabraziv kəsmə üsulunun araşdırılmasından məlum olmuşdur ki, abraziv qarışıqlı su şırnağı aləti ilə kəsmədə suyun kəsmə zonasına verilmə sürət və təzyiqindən asılı olaraq dənələrin materialın səthinə zərbələri baş verir ki, bu da kəsmə prosesini intensivləşdirir [61, s.55-56], [9, s.39], [127, s.14-5], [125, s.25], [131, s.44], [123, s.401-403], [94, s.4777], [95, s.3132].

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 asılıdır. Yuxarıda göstərilən amillərdən asılı olaraq kəsmədə müxtəlif forma və ölçüdə yonqar əmələ gəlir ki, bunun nəticəsində kəsilən səthin fiziki-mexaniki xassələri dəyişə bilər, kəsilmiş səthdə müxtəlif ölçü və formada kələ-kötürlüklər və forma xətalı yaranır [61, s.53-61], [2, s.39], [85, s.78-81], [15, s.450], [16, s.1], [124, s.408], [1, s.502-503], [35, s.83-86], [88, s.524], [36, s.17-20], [55, s.5-53].

Aparılmış araşdırmalardan [29, s.55-61] məlum olmuşdur ki, hidroabraziv emalda yonqar əmələgəlməni təmin edən texnoloji parametrlər haqda məlumatlar və tədqiqatlar kifayət qədər deyildir. Bu səbəbdən texnoloji parametrlərin yonqar əmələgəlməyə təsirinin modelləşdirilməsinə ehtiyac vardır. V.V. İvanov [29, s.57] apardığı hidroabraziv emalının immitasiya modelinə görə təklif edilən tənliklərə əsasən texnoloji parametrlərin qarşılıqlı əlaqələri və dəzgahın konstruktiv xüsusiyyətini nəzərə alaraq hesablamalarda aşağıdakı düsturlar təklif etmişdir.

$$v_m = v_0 \left[\frac{1}{p_2 \cdot F} \cdot \frac{l_o}{A_2 \cdot D_2 + (C_2 + E_2)} \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (2.1.1)$$

burada,

v_m – su şırnağının mərkəz oxundakı sürəti;

v_0 – su şırnağının başlanğıc sürəti;

p_2 – abraziv dənələrinin sıxlığı;

F – su şırnağının dairəvi en kəsiyinin sahəsi;

A_2, C_2, D_2, E_2 - əmsallar;

l_o – su şırnağının implusudur.

$$d_{cmp} = 0.44(H - R) \frac{B_2 + (0.5A_2 - C_2) \cdot k}{B_2 + (A_2 - C_2) \cdot k}; \quad (2.1.2)$$

burada

d_{cmp} - hidroabraziv su şırnağının emal səthinə düşən diametri;

H - müştüyün yan səthindən emal olunan səthə qədər olan hündürlük;

R –qarışdırıcı borunun daxili radiusu;

B_2 , - əmsal;

k - verişdir.

$$h_{max} = k_m^{0.5} v_0 d \sqrt{\frac{p_2}{3k_d c \sigma_s} \cdot \frac{1}{p_1 \cdot F} \cdot \frac{l_o}{A_2 \cdot D_2 + (C_2 + E_2)}}; \quad (2.1.3)$$

burada

h_{max} – abraziv dənələrinin materiala girmə dərinliyi;

k_m - əmsal olub, emal prosesində qonşu dənələrin təsirini nəzərə alır;

d -abraziv dənəsinin orta diametri;

k_d – abraziv dənələrinin formasının kontakt səthin sahəsinə təsirini nəzərə alan əmsal;

c – kontakt səthinin yüklənmə keyfiyyətini nəzərə alan əmsal;

σ_s – materialın sıxlıq həddi;

p_1 - mayenin sıxlığıdır.

$$q = 1.9 k_c \cdot \frac{d^3}{k_d^{3/4}} \left[k_m^{0.5} v_0 \sqrt{\frac{P_2}{3c \sigma_s} \cdot \frac{1}{p_1 \cdot F} \cdot \frac{l_o}{A_2 + D_2 + (C_2 + E_2)}} \right] \cdot p_d; \quad (2.1.4)$$

burada,

q – bir zərbə nəticəsində abrazivin çıxardığı metal;

k_c – yonqar əmələgəlmə əmsalı;

p_d – emal olunan materialın sıxlığıdır.

(2.1.1-2.1.4), düsturları hidroabraziv emalının əsas rejim parametrlərinin: su şırnağının sürətini, onun diametrini, pəstahın kontakt səthində şırnağın əhatə sahəsini,

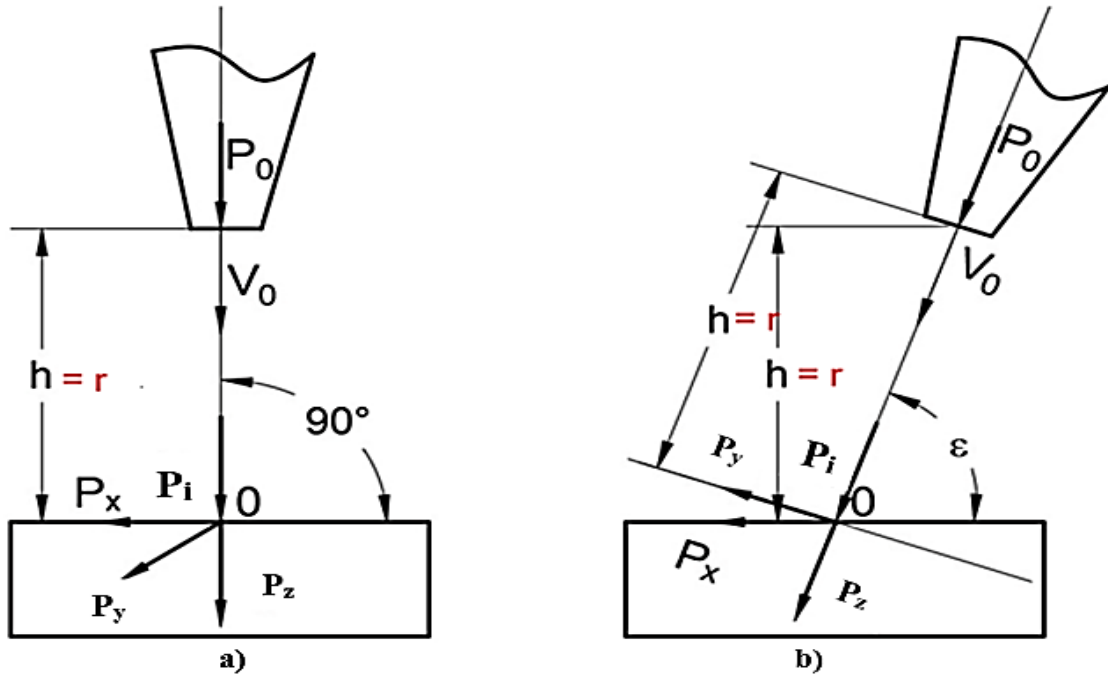
abraziv dənələrinin metala girmə (daxil olma) dərinliyini və s. amillərin təyini üçün ilkin hesablamaları həyata keçirməyə imkan verir.

Araşdırmalar göstərir 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 [29, s.57]. Ona görə də müvafiq olaraq materialların hidroabraziv emalında prosesin dinamik göstəricilərinin nəzəri təhlili, kəsmədə yaranan təzyiq qüvvələrinin tənliklərinin su şırnağının abraziv dənələrinin qarışığının kontakt sonasına iki sxemdə, yəni şırnağın emal səthinə perpendikulyar və emal səthinə maili (bucaq altında) verməklə hesablanmış və müvafiq tənliklər əldə olunmuşdur. Eləcə də dissertasiya işində hidroabraziv kəsmə üsulunun rejim parametrlərini və emal olunan pəstahın materialının fiziki-mexaniki xassələrini nəzərə alaraq kəsmədə yaranan qüvvələrin empirik düsturları çıxarılmış və orada iştirak edən əmsal və həndəsi ölçülərin təsir dərəcələri açıqlanmışdır. Eyni zamanda su şırnağına qarışdırılmış abraziv dənələrin həndəsi ölçüləri və forması tədqiq olunaraq onların kəsmə prosesinə təsiri verilmişdir.

Materialların, o cümlədən poladların hidroabrazivlə kəsilməsində yaranan yonqarların pəstahın səthindən ayrılması və nəql olunması kontakt zonasına yüksək təzyiq və sürətlə vurulan abraziv dənələr ilə qarışdırılmış su şırnağı vasitəsi ilə icra olunur. Bu halda abraziv dənələri emal səthinə zərbə ilə dəyərək yaranan inersiya (ətalət) qüvvəsinin təsiri altında kontakt zonasında yonqar elementlərini kəsərək ayırır. Belə şəraitdə yonqar əmələgəlmə mexanizmi və emal məhsuldarlığı kəsmənin digər parametrləri ilə yanaşı su şırnağının abrazivlə qarışığının verilməsindən asılıdır.

Hidroabraziv kəsmə sxemində su şırnağının kəsmə zonasına verilmə üsullarının analizi göstərmişdir ki, su abraziv qarışığının pəstahın səthinə verilməsi sxemindən asılı olaraq kontakt zonasında yaranan təzyiq qüvvələri müxtəlif olduğu üçün [61, s.55], [2, s.218], [19, s.50], [142, s.1] maşın hissələrinin istehsal texnoloji prosesində müxtəlif fiziki proseslərin getməsinə səbəb olur.

Aşağıda su-abraziv qarışığının pəstahın səthinə verilmə sxemləri və bu sxemlərdən asılı olaraq su şırnağının ümumi və inersiya (ətalət) təzyiq qüvvələrinin hesabı verilmişdir. Şəkil 2.1.1-də hidroabraziv emalda su-abraziv şırnağının emal səthinə verilməsi sxeminin iki üsulu verilmişdir [61, s.55]. Şəkil 2.1.1 a)-da su şırnağının emal olunan səthə perpendikulyar, şəkil 2.1.1 b)-də isə bucaq altında verilmə sxemləri göstərilmişdir.



Şəkil 2.1.1 Təzyiq qüvvəsinin müxtəlif kəsmə sxemlərində hesablanması sxemləri

- a) -su şırnağının səthə perpendikulyar verilmə sxemi;
- b)-su şırnağının səthə bucaq altında (maili) verilməsi sxemi

Şəkil 2.1.1 a)-da su şırnağının səthə " P_0 " təzyiqi ilə, yəni v_0 sürəti ilə perpendikulyar (90°) istiqamətdə verilməsi nəticəsində "O" nöqtəsində " P_i " inersiya qüvvəsi yaranır. Bunun nəticəsində "O"-nöqtəsində P_z , P_y və P_x – kəsmə qüvvələri yaranır. Su şırnağı emal səthinin h məsafəsindən emal səthinə düşür. Şəkil 2.1.1 b)-də isə su şırnağının verilmə oxunun (müştüyün oxu) emal səthin " ϵ " bucağı altında verildikdə " P_i ", P_z , P_y və P_x qüvvələrinin istiqamətləri göstərilmişdir. Hər iki kəsmə

sxeminə əsasən su şırnağı v_0 sürəti ilə " P_0 " təzyiqi altında emal səthinə verdildikdə " P_i " inersiya qüvvəsi yaranır. Su şırnağının " P_0 " təzyiq qüvvəsinin emal olunan səthdə yaratdığı " P_i " inersiya qüvvəsi öz növbəsində kəsmə zonasında P_z tangensial kəsmə qüvvəsi, P_y normal kəsmə qüvvəsi, P_x oxboyu qüvvələrinin yaranmasına səbəb olur.

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 yönəlir [61, s.55], [109, s.783]. 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:

$$P = P_o + P_i \text{ (Pa)}, \quad (2.1.5)$$

burada:

P -su şırnağının ümumi təzyiqi ("O"-nöqtəsində);

P_o –müştüyün çıxışında su şırnağının təzyiqi;

P_i - "O"-nöqtəsində kəsmə səthində zərbədən 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 [1, s.502-503], [2, s.218], [89, s.66-68], [93, s.185-186]:

$$P_i dt = mQdt \cdot v_o, \quad (2.1.6)$$

burada

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

Q - suyun bir saniyədə sərfiyyatı, l/s ;

v_o –su şırnağı ilə abrazivin axma sürətidir, mm/san

(2.1.6) tənliyində $mQdt \cdot v_o$ –su şırnağının hərəkətinin dəyişmə cəmidir. Su şırnağının cəm hərəkəti tənliyini həll edərək inersiya qüvvəsini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$P_i = mQ \cdot \vartheta_o = \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r}, \quad (2.1.7)$$

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

$$P = P_0 + P_i = P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r}, \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \right) (\text{Па}). \quad (2.1.8)$$

(2.1.8) düsturu hidroabraziv kəsmə üsulunun şəkil 2.1.1.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 verilirə, onda yaranan inersiya qüvvəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

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

və yaxud

$$P_i = \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r} \cdot tg\varepsilon. \quad (2.1.9)$$

Beləliklə, şəkil 2.1.1.b sxemində pəstahın səthinin “O”-nöqtəsində yaranan ümumi təzyiq aşağıdakı kimi ifadə olunacaq:

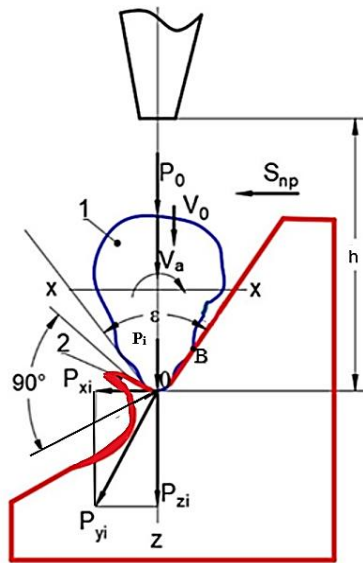
$$P = P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot \vartheta_o^2}{r} tg\varepsilon. \quad (2.1.10)$$

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 [61,

s.55]. Nəzəri tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, yonqarın ayrı-ayrı elementlərinin formalaşmasında abraziv dənələri iti tiyələrinin forma və ölçüsündən asılı olaraq müxtəlif şəkildə metala batır və nəticədə P_0, P_i təzyiqlərinin yonqar əmələgəlmə formasına təsiri fərqli olur [61, s.56].

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 [61, s.55].

Şəkil 2.1.2 də abraziv dənəsinin kontakt zonasında metala batma sxemi verilmişdir [61,s.56].



Şəkil 2.1.2 Abrazivi dənələrinin metala batma sxemi [61, s.56]

1- abraziv dənəsi; 2- yonqar

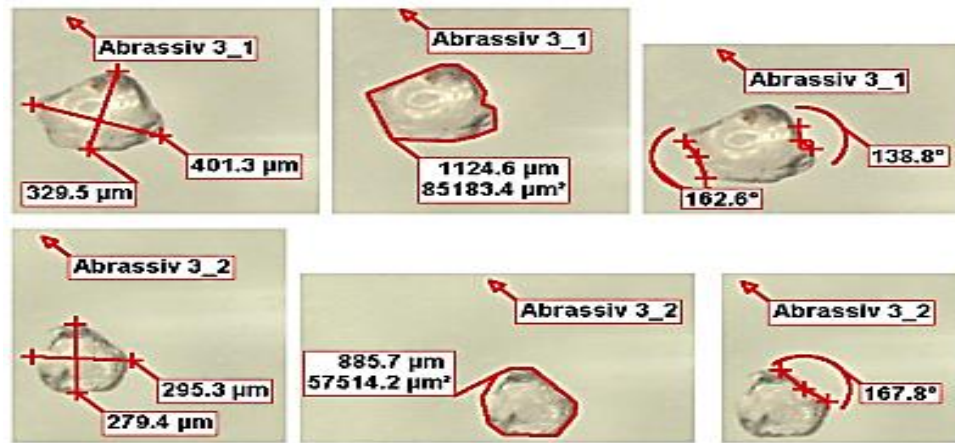
Təcrübələrdə abraziv materialı olaraq qranit qumundan istifadə olunmuşdur. Qranit qumu təbii olmaqla yanaşı yüksək bərkliyə və süni abrazivlərə nisbətən aşağı maya dəyərinə malikdir. Qranit qumu dənələrinin bərkliyi $7,5 \div 8,0$ Mosa bərabər olub dəqiq formaya malik iti ucludurlar. Təctübələrin aparılmasında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

ətraflı öyrənilmişdir. Emaldan əvvəl istifadə olunan abraziv dənələrinin profil ölçülərinin alınmış nəticələri cədvəl 2.1.1 və şəkil 2.1.3-də verilmişdir [61, s.57].

Cədvəl 2.1.1

Emaldan əvvəl istifadə olunan abraziv dənələrinin profil ölçüləri

Abraziv dənəsi	Uzunluğu və eni, μm	Perimetri və sahəsi, μm	Bucaq ⁰
Abrasive 3_1	329,5	1124,6	138,8
	401,3	85183,4	162,6
Abrasive 3_2	295,3	885,7	167,8
	279,4	57514,2	



Şəkil 2.1.3. Emaldan əvvəl abraziv dənələrinin görünüşü

Ölçmələrlə ayrı-ayrı abraziv dənələrinin uzunluğu, eni, çevrəvariliyi, ümumi sahəsi və tiyənin itilik bucağı ölçülmüşdür. Məsələn cədvəl 2.1.1-də verilmiş 3_1 nömrəli abraziv dənəsinin uzunluğu 401,3 mkm, eni 329,5 mkm, perimetri 1124,6 mkm, ümumi səthinin sahəsi 85183,4 mkm təşkil edir. Ayrı-ayrı səthlərdə olan tiyələrin itilik bucağı bir tərəfdə 162,6°, digər tərəfdə isə 138,8° olmuşdur (şəkil 2.1.3). Digər abraziv dənəsinin həndəsi ölçüləri və itilik bucaqları cədvəl 2.1.1 və şəkil 2.1.3-də göstərilmişdir.

Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabraziv kəsmə prosesində abraziv dənələri su şırnağı ilə kəsmə zonasına yüksək təzyiq və zərbələrlə vurulduqda abraziv dənələrinin qırılması nəticəsində öz ölçü və həndəsi formalarını dəyişirlər [69,

s.130]. Qırılmış abraziv dənələri növbəti prosesdə fərqli itiliyə malik dənələr formasında emal prosesinə daxil olur. Abraziv dənələrinin forma və ölçüsünü araşdırmaq üçün eksperimentlərdən əvvəl abraziv dənələrinin forma və ölçüləri mikroskop vasitəsilə tədqiq olunmuş və sonra onları ağ boya ilə rəngləməklə emal prosesi aparılmışdır. Rənglənmiş abraziv dənələrinin çəkisi 0,5 qr, yəni 200-ə qədər abraziv dənəsi götürülmüşdür. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli polad materialından götürülmüş abraziv qarışıqlı su şırnağı ilə kəsdikdən sonra həndəsi forması öyrənilmişdir. Emaldan sonra istifadə olunan abraziv dənələrin profil ölçülərinin alınmış nəticələri cədvəl 2.1.2. və şəkil 2.1.4-də göstərilmişdir [61, s.58].

Cədvəl 2.1.2

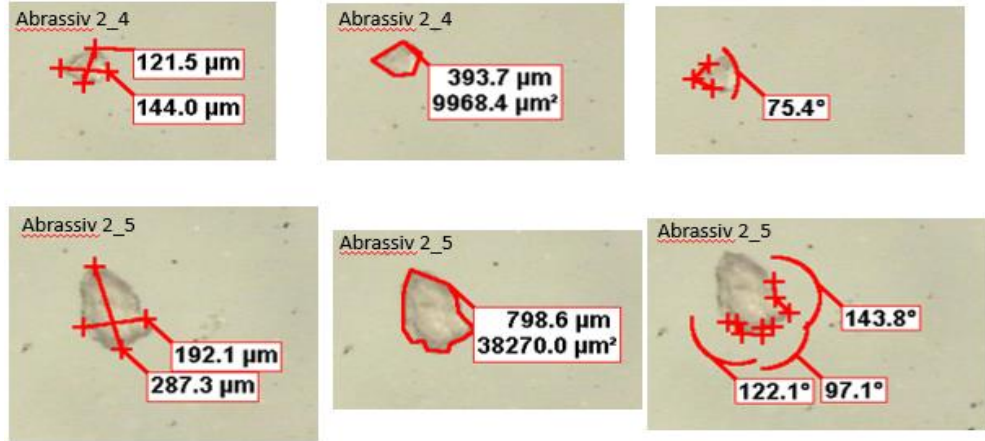
Emaldan sonra istifadə olunan abraziv dənələrin profil ölçüləri

Abraziv dənəsi	Uzunluğu və eni, μm	Perimetri və sahəsi, μm	Bucaq ⁰
Abrasiv 2_4	121,5 144,0	393,7 9968,4	75,4
Abrasiv 2_5	192,1 287,3	798,6 38270,0	143,8 122,1 97,1

Ölçmələrdən məlum olmuşdur ki, abraziv dənəsi 3_1 ölçüsü emaldan sonra qırılaraq formasını xeyli dəyişmişdir (cədvəl 2.1.2, abraziv dənəsi 2_4). Eyni zamanda itilik bucağı $138,8^{\circ}$ -dən $75,4^{\circ}$ -yə enmişdir. Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabraziv emalda ilkin abraziv dənələri emal olunan materialın səthinə zərbələrlə dəyib yonqar əmələ gətirdikdə növbəti abraziv dənələri axının əvvəlində verilmiş dənələrə dəyərək abrazivlərin təkrar dağılmasına və qırılmasına səbəb olur.

Məlumdur ki, hidroabraziv emalda mövcud olan bir çox texnoloji parametrlər yonqar əmələ gəlmə mexanizminə və yonqarın həndəsi ölçülərinə təsir göstərir. Yəni, yonqarın forma və ölçüsü su şırnağı ilə abraziv dənələri qarışığının təzyiqi, verilmə sürəti, abrazivin dənəveriliyi və bərkliyi, abrazivin sərfiyyatı, emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələri və ölçüləri, pəstahın veriş hərəkətinin sürətindən və s. amillərin birgə təsirindən asılıdır. Ona görə də hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı

poladdan qalınlığı 20 mm olan pəstahdan ölçüsü 30 mm-lik slindrik detalların hazırlanmasında eksperimentlər aparılmışdır. Təcrübələrdə su şırnağının təzyiqi 2500 bar, dənələrinin sərfiyyatı 85 qr/l, uzununa verişin sürəti $S_{uz}=77,4 \text{ mm/dəq}$ götürülərək yonqar əmələ gəlməyə baxılmışdır.



Şəkil 2.1.4 Emaldan sonra abraziv dənələrinin görünüşü

Emaldan sonra yonqarın deformasiya bucaqlarının alınmış nəticələrindən bir neçəsi cədvəl 2.1.3 və şəkil 2.1.5-də öz əksini tapmışdır [61, s.58].

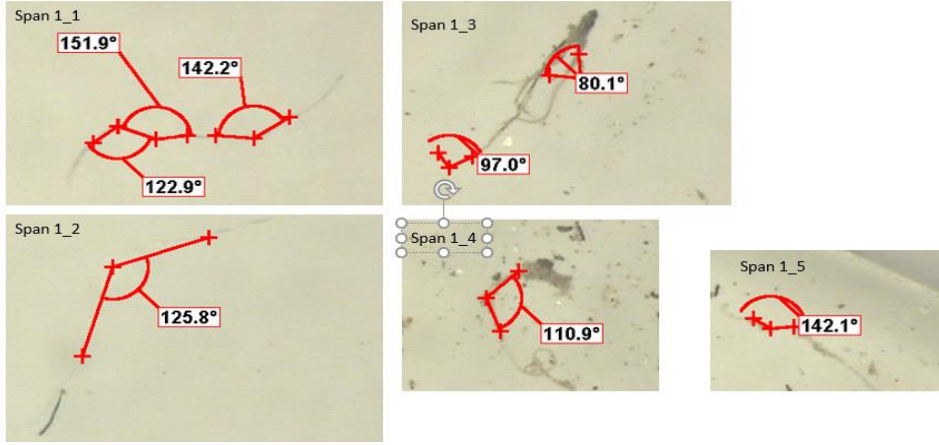
Cədvəl 2.1.3

Emaldan sonra yonqarın deformasiya bucaqları

	Yonqar 1_1	Yonqar 1_2	Yonqar 1_3	Yonqar 1_4	Yonqar 1_5
- Bucaq ⁰	151,9 142,2 122,9	125,8	80,1 97,0	110,9	142,1

Cədvəl 2.1.3 və şəkil 2.1.5-də verilmiş nəticələrdən görmək olur ki, hidroabraziv kəsmə prosesində çıxan yonqarın profil bucağı bir neçə yonqarın ölçülməsindən sonra $80,1^{\circ}$ (yonqar 1.3) ÷ $151,9^{\circ}$ (yonqar 1_1) arasında dəyişir.

Beləliklə, məlum olmuşdur ki, ayrı-ayrı abraziv dənələrinin çıxardığı yonqarların qalınlığı müxtəlif olur ki, bu da digər amillərlə yanaşı hər bir abraziv dənəsinin tiyəsinin itilik bucağından asılıdır.



Şəkil 2.1. 5 Yonqarın ölçmədən sonra bəzi həndəsi formaları

Məsələn, şəkil 2.1.5-də verilmiş 1_3 yonqarının qalınlığı 1,3 mkm olduğu halda 1_4 yonqarının qalınlığı 1,5 mkm, 1_1 yonqarının qalınlığı isə 0,8 mkm təşkil etmişdir. Alınmış həndəsi ölçülər əsasında belə qənaətə gəlmək olar ki, abraziv dənələri emal olunan səthə dəyən anda müxtəlif bucaq altında yonqar əmələ gətirir, ona görə də abraziv dənələrinin profili dəyişir. Bu eyni zamanda həndəsi ölçüləri fərqli olan abraziv dənələrinin P_0 təzyiqi altında “O” nöqtəsi ətrafında metala girməsi zamanı öz oxu (Z) ətrafında $\varepsilon_1/2$ qədər dönür və kontakt xətti “OB” xəttində yerləşəcək. Abraziv dənələrinin “O” nöqtəsində metala toxunduqda P_0 və P_i qüvvələri yaranır və bunun təsirindən yonqarın plastik deformasiyası müşahidə olunur.

Hidroabraziv emalın səmərəliliyi, yonqar əmələ gəlmə xüsusiyyətləri və abraziv dənələrinin kəsmə zonasında yaratdığı plastiki deformasiyalar digər amillərlə yanaşı, emal olunan materialın kimyəvi tərkibi və fiziki-mexaniki xassələri, abraziv dənələrinin metala girmə bucağından ε_1 da çox asılıdır.

Eyni zamanda kəsilmiş yonqarların kontakt zonasından nəql olunmasında iştirak edən abraziv dənələri su axını ilə birlikdə qırılmış, qopmuş zərrəciklərin iştirakı ilə baş verir. Yonqarın çıxma istiqaməti eyni vaxtda su şırnağının axma istiqamətindən və kontakt zonasına təsir edən abraziv dənələrinin təsir trayektoriyasından asılıdır.

Abraziv dənələrinin kontakt zonasında metalın kəsilmə səthinə zərbələrinin sayı suyun sərfiyyatından, dənələrin ölçüsündən və parçalanmış hissəciklərin sayından asılıdır.

Şəkil 2.1.2–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 qüvvələrini P_z , P_y və P_x təşkiledicilərini aşağıdakı asılılıqdan tapmaq olar [61, s.58], [84, s.23-24]:

$$\begin{aligned} P_z &= \sum P_{zi} = Z \cdot P_{zi} ; \\ P_y &= \sum P_{yi} = Z \cdot P_{yi} ; \\ P_x &= \sum P_{xi} = Z \cdot P_{xi} ; \end{aligned} \quad (2.1.11)$$

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.

$$P_{zi,yi,xi} = (P_0 + \frac{Z \cdot m_z \cdot v_0^2}{r}) \cdot S ; \quad (2.1.12)$$

burada S -kəsilmə qatın sahəsidir, m^2 .

Hidroabraziv kəsmədə rejim parametrlərini nəzərə alaraq bir abraziv dənəsinin yaratdığı kəsmə qüvvələrinin təşkiledicilərini aşağıdakı kimi yazmaq olar[61, s.58].

$$\begin{aligned}
P_{zi} &= C_{pz} \cdot Q_{pz}^{x_z} S_{n_p}^{y_z} t^{z_z}; \\
P_{yi} &= C_{py} \cdot Q_{py}^{x_y} S_{n_p}^{y_y} \cdot t^{z_y}; \\
P_{xi} &= C_{px} Q_{px}^{x_x} S_{n_p}^{y_x} \cdot t^{z_x},
\end{aligned}
\tag{2.1.13}$$

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.

Hidroabraziv emalda kəsmədə iştirak edən abraziv dənələrinin sayının konsentrasiyası ilə yanaşı onların sorulub su ilə qarışdırılma sürətindən, müştüyün axıcılıq qabiliyyətindən və onun daxili diametrindən asılıdır .

Aparılmış təcrübələrdə ilkin olaraq abraziv dənələrinin konsentrasiyasını 85 qr/l götürülüb, ölçüsü 80 Mech (177 mkm) olan abraziv dənələrinin bir qramında 300÷340 ədəd zərrəciklər olur. Bu yuxarıda verilmiş şərtlər daxilində bir dəqiqədə 25500÷28900 ədəd abraziv zərrəcikləri (saniyədə 425÷482 ədəd) kəsmədə iştirak edir [61, s.58].

Təcrübələrdə tətbiq edilən su şırnağı qarışığı axan müştüyün daxili diametri 0,335 mm götürülmüşdür. Su şırnağının təzyiqi 2500 bar götürüldükdə müştüyün eyni vaxtda en kəsiyindən 12-15 ədəd abraziv zərrəcikləri keçir.

2.2. Hidroabraziv ilə çətin emal olunan materialda kontakt zonasının xüsusiyyətləri

Dissertasiyanın tərtib olunmuş proqramına (ədəbiyyat araşdırılmalarına) əsasən, HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladdan müxtəlif qalınlıqlı və mürəkkəb profilə malik maşın hissələrinin hidroabraziv kəsmə üsulundan istifadə edərək, mexaniki emal

prosesinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Aparılmış araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, çətin emal olunan materiallardan hidroabraziv üsulla kəsmə prosesinin səmərəliliyi, texnoloji prosesin keyfiyyət parametrlərinin formalaşması kontakt zonasının fiziki-mexaniki xassəsindən çox asılıdır. Məlumdur ki, materialların mexaniki emal prosesində kontakt zonasında yonqarəmələgəlmənin xüsusiyyətləri həmin materialın ümumi mexaniki xassələrindən asılıdır [61, s. 55;].

Xrom-nikelli poladların, o cümlədən HARDOX-500 markalı poladdan olan pəstahların qalınlığı dəyişdikcə onun müxtəlif en kəsiyində kimyəvi tərkibinin, yəni xromun qeyri-bərabər paylanması səbəbindən bərkliyi, geniş miqyasda dəyişir. Məsələn, [140, s.1] qalınlığı 4÷32 mm olan pəstahların bərkliyi HBW 470÷530 olduğu halda, qalınlığı 32,1÷103,0 mm olan pəstahlarda bərklik HBW 450÷540 arasında alınır. Ona görə də, istehsal olunan detalın qalınlığından asılı olaraq, eyni metalın kəsilməsində yonqarəmələgəlmə prosesi fərqli fiziki-mexaniki və texnoloji xüsusiyyətlərlə gedir.

Ümumi halda, tədqiqatda öyrənilən polad əyilmə, qaynaqlanma və yeyilməyə qarşı dayanıqlı olduğu halda, yaxşı mexaniki emal olunma qabiliyyətinə malikdir. HARDOX-500 poladının standartına əsasən (EN İSO650-1) pəstahın mərkəzində bərklik onun səthindəki bərkliyin 90%-ni təşkil edir. Bu keyfiyyət standartları ədəbiyyatda geniş şəkildə verilmişdir [138, s.1]. EN İSO650-1 standartına əsasən, HARDOX-500 markalı poladın nominal bərkliyi HBW 500-ə bərabərdir. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın kimyəvi tərkibi aşağıdakı legirləyici elementlərdən ibarətdir [140, s.1], [142, s.1].

- 1) Karbonun miqdarı, C -0,3 % ;
- 2) Silisium, Si -0,70% ;
- 3) Manqan, Mn -1,60% ;
- 4) Fosfor, P- 0,02% ;
- 5) Kükürd, S – 0,01% ;
- 6) Xrom, Cr – 1,50 % ;
- 7) Nikel, Ni – 1,50% ;
- 8) Molibden, Mo- 0,60% ;

9) Bor, - 0,005% .

Karbon ekvivalentinə görə CET(CEV) pəstahın qalınlığından asılı olaraq aşağıdakı kimi CET(CEV) üzrə dəyişir (cədvəl 2.2.1) [140, s.1].

Cədvəl 2.2.1

Pəstahın qalınlığının karbonun miqdarından asılılığı

Pəstahın qalınlığı	Karbonun miqdarı	
	CEV	CET
4,0-13,0 mm	0,38 (0,53)	0,37 (0,51)
13,1- 19,9 mm	0,43 (0,64)	0,41 (0,63)
20,0-39,9 mm	0,45 (0,66)	0,41 (0,63)
40,0-103,0 mm	0,47 (0,75)	0,43 (0,72)

Poladın standartına görə CET (karbonun miqdarı) aşağıdakı kimi hesablanır: [140, s.1].

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} ; \quad (2.2.1)$$

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} . \quad (2.2.2)$$

Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, götürülmüş materialın zərbə özüllüyü 1250÷1300 MPa, möhkəmlik həddi isə 1580 MPa arasında dəyişir [141, s.3].

HARDOX-500 markalı polad pəstahların 80 mm qalınlığa qədər yeyilmiş materiallarda SSAB təşkilatı EN10029 standartına əsasən [141, s.3-5] xətti ölçülərə meyllənmələr təyin olunmuş və bu meyllənmələrin minimum həddi -0,3÷-0,9 mm-ə, maksimum həddi isə +0,3÷+1,7mm hədləri daxilində dəyişə bilər. Ona görə də, HARDOX-500 markalı poladdan hidroabraziv üsulu ilə maşın hissələrinin hazırlanmasında pəstaha SSAB EN10029 tərəfindən verilən tələbləri nəzərə alaraq, texnoloji əməliyyatın layihələndirilməsi aparılmışdır [141, s.3-4].

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, emal prosesinə götürülən materialın ən kəşik sahəsi üzrə bərkliyinin dəyişməsi hidroabraziv kəsmə üsulunun texnoloji rejim parametrlərinin optimallaşdırılmasının yerinə yetirilməsini tələb edir. Texnoloji prosesin optimallaşdırılması nəticəsində hidroabrazivlə HARDOX-500 materialının

kəsilməsində kontakt səthinin keyfiyyət parametrlərinin, yəni kələ-kötürlüyün, xətti ölçülərin meyllənmələrini, mikrobərəkliyin paylanması və s. kimi amillərin dəyişməsinin fiziki mahiyyətini aydınlaşdırmaq mümkündür.

2.3. Hidroabrazivlə çətin emal olunan (HARDOX-500) material üçün rejim parametrlərinin optimallaşdırılması

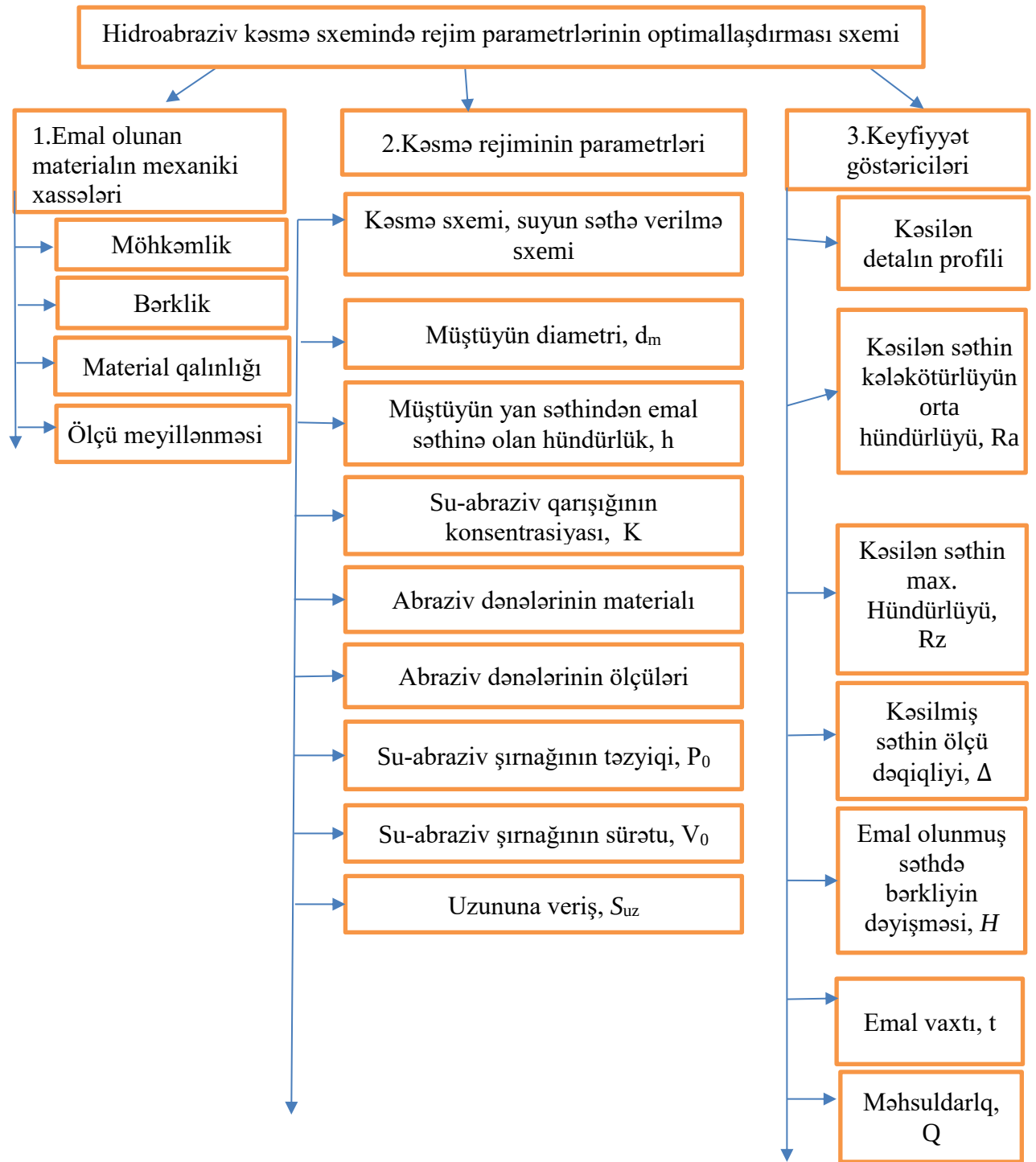
Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladlarda maşın hissələrinin istehsalında detalın cizgisində qoyulan keyfiyyət tələblərini yerinə yetirmək üçün texnoloji prosesin rejimlərinin modelləşdirmə prinsipləri əsasında optimallaşdırılmasının əsas məqsədi kriteriyaların prioritetlik səviyyəsinin təyin olunması ilə ayrı-ayrı funksiyaların qiymətləndirilməsini müəyyən etməyə imkan verəcəkdir. Texnoloji prosesin layihələndirilməsində optimallaşdırma strukturunun işlənməsi imkan verir ki, onu təşkil edən elementləri, rejim parametrlərinin funksional asılılıqları arasında əlaqələrin həlli nəticəsində hidroabraziv kəsmə üsulunun rejimlərinin səmərəli hədləri müəyyən edilsin.

Hidroabraziv emalı prosesinin layihələndirilməsində sistemli və parametrik optimallaşdırma üsulları ilə çoxvariantlı təhlil olunan və riyazi yolla həlli mümkün olan məsələlərdən əlavə digər həll edilməsi mürəkkəb olan amillərin də təhlil olunması aparılmalıdır [94, s.4777].

Sistemli yanaşma ilə hidroabraziv emalında kəsmə rejimlərinin optimallaşdırılmasında ilk növbədə əsas tələblərin və kəsmədə keyfiyyəti müəyyənləşdirən elementlərin klassifikasiyasının işlənməsi tələb olunur. Hidroabraziv kəsmə texnoloji prosesində emalın rejim parametrləri və axtarılan keyfiyyəti ifadə edən amillər şəkil 2.3.1-də verilmişdir.

Şəkil 2.3.1-dən görüldüyü kimi hidroabraziv emalda rejim parametrlərinin optimallaşdırılmasında iştirak edən amillər 3 qrupa bölünür.

Birinci qrup emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələrini ifadə edən amillərdir. İkinci qrup kəsmə rejimi elementlərini təşkil edən parametrlər və üçüncü qrup amillər birinci və ikinci qrup amillərinin qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində alınan çıxış



Şəkil 2.3.1 Hidroabraziv kəsmə səthinin algoritmi

parametrlərinin, yəni axtarılan amillərin ardıcılığı verilmişdir. Bununla hidroabraziv kəsmədə texnoloji proseslərin layihələndirilməsi çoxlu sayda faktorların təsiri ilə müxtəlif elementlərin zaman və məkan daxilində qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, tələb olunan keyfiyyətdə maşın hissələrinin istehsalını təmin edə bilən optimal rejimlərin işlənməsini həyata keçirməkdir. Hidroabraziv emal

prosesinin kəsmə rejim parametrlərinin optimallaşdırılmasında məqsəd, kəsilən materialın strukturunda dəyişmələrin onun keyfiyyət parametrlərini artırmaq, alınan ölçü dəqiqliyini yüksəltmək, səthin kələ-kötürlüyünü azaltmaq və s. məsələlərini həll etməkdir.

Texnoloji prosesin optimallaşdırılmasında kriteriya kimi şəkil 2.3.1-də verilmiş 3-cü qrup amillərin qiymətləri əsasında həll olunur. Bura aiddir:

- səthin kələ-kötürlük parametrləri R_a , R_z ;
- detalın kəsilən konturunda ölçü dəqiqliyi, Δ ;
- emal olunmuş səthdə bərkliyin artırılması, H ;
- kəsmə sxeminin dəyişməsi;
- emal vaxtı, t ;
- kəsmənin məhsuldarlığı, Q .

Göstərilən çıxış parametrlərinin rejim amillərindən funksional asılılıqlarını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$F_i(x_1, x_2, \dots, x_i) = F(d_m, h, K, p_0, v_0, S_{uz} \text{ və } b.) ; \quad (2.3.1)$$

burada F_i - çıxış parametrləri, məsələn R_a , R_z , Δ , H_μ və s.

$x_1, x_2, \dots, x_i$ - axtarılan amillər,

F - kəsmə rejim parametrləri,

d_m - müştüyün diametri,

h - müştükdən emal olunan səthə qədər olan məsafə,

K - abraziv dənələrinin konsentrasiyası və s.

Optimallaşdırmanın məqsədi hidroabraziv kəsmədə rəşional rejimlərin riyazi funksiyaların tətbiqi ilə həll edilməsidir. Ona görə də hidroabraziv emalda xrom-nikelli poladların kəsmə rejimlərinin optimallaşdırmanı minimal kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünə və kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün ən kiçik qiymətinə, bərkliyin H_μ qiymətinə, ölçü xətalalarının Δ minimal qiymətini təmin edən rejimlərin rəşional qiymətinin tapılmasına əsaslanaraq optimallaşdırma aparılır.

Optimallaşdırma proqramı üzrə və alqoritmlərin şəkil 2.3.1-də 3-cü qrup üzrə verilmiş ardıcılıığı əsasında həddi ölçülərin təyin olunması və onların rəasional qiymətlərinin müəyyənləşdirilməsi təcrübələrin çox faktorlu planlaşdırılması ilə həll edilmiş və alınmış nəticələr müvafiq bölmədə verilmişdir.

1.4. II Fəsil üzrə nəticələr.

1. Nəzəri tədqiqatların araşdırılması nəticəsində hidroabraziv kəsmə üsulunda pəstahın emal olunan səthində su-abraziv qarışığının müxtəlif kəsmə rejimləri üçün tədqiqi və yaranan qüvvələri hesablamaq üçün yeni yanaşma riyazi modeli işlənilmişdir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, materialların hidroabrazivlə kəsilməsi zamanı su abraziv şırnağının təzyiqi altında kontakt zonasında abraziv dənələri emal olunan materiala inersiya qüvvəsi ilə təsir edərək yonqarəmələgəlmə mexanizminin dəyişməsinə səbəb olur. Hidroabraziv emalda yaranan inersiya (ətalət) qüvvəsinin abraziv dənələrinin hərəkət trayektoriyasının su şırnağı daxilində verilən təzyiqdən asılı P_0 olaraq dəyişməsinə nəzərə alan riyazi ifadəsi (modeli) işlənilmişdir.

3. Hidroabraziv emalda yaranan inersiya qüvvəsinin riyazi tənliliyinin eyni zamanda kəsmə rejimi parametrlərindən, yəni abraziv dənələrinin və suyun sərfiyyatından, su şırnağının kəsmə zonasına verilmə bucağından asılı olaraq nəzəri ifadəsi işlənilmişdir.

4. Eksperimental tədqiqatlar əsasında müəyyən edilmişdir ki, abraziv dənələri müxtəlif istiqamətdə kəsici tiyələrə malik olmaqla, inersiya zərbə qüvvəsi təsiri altında emal olunan səthə bataraq qismən dönərək yonqar əmələ gətirir, ona görə də yaranan yonqarların forma və ölçüsü bir-birindən fərqlənir. Məlum olmuşdur ki, inersiya zərbə qüvvələrinin təsirindən abraziv dənələri emal səthinə toxunduqda qırılmaya məruz qalır.

5. Hidroabraziv emalda HARDOX-500 markalı poladın sərbəst abraziv dənələrinin və onların kəsmədə əmələ gətirdiyi yonqarların forma və ölçüləri Nikon

SMZ-10A xüsusi mikroskopu ilə tədqiq olunmuş və onların həndəsi ölçüləri təyin edilmişdir.

6. Nəzəri və eksperimental tədqiqatlar nəticəsində sərbəst abrazivlə kəsmədə yaranan P_z , P_y , P_x qüvvələrinin kəsmə rejimi parametrlərindən, abraziv dənəsi və emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələrindən asılı olaraq tənlikləri verilmişdir.

7. Hidroabraziv kəsmə üsulunda emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələrini, kəsmə sxemi və rejimləri, abraziv dənələrinin fiziki-mexaniki xüsusiyyətini nəzərə alaraq sistemli və parametrik optimallaşdırma üsulu tətbiq etməklə texnoloji amillərin rəasional qiymətləri təyin olunmuşdur.

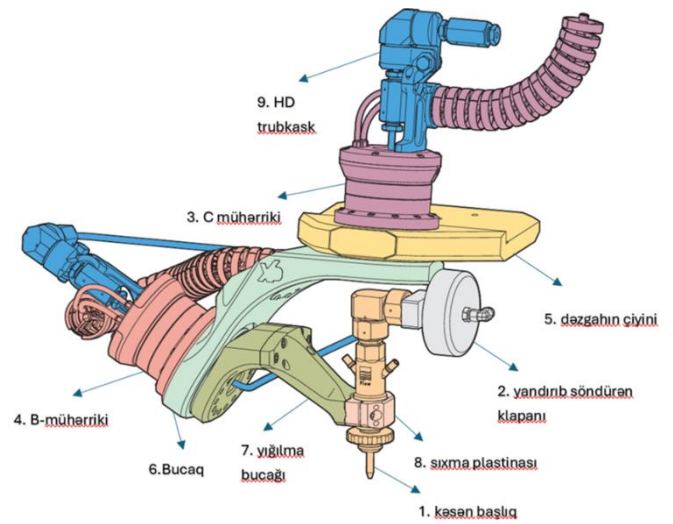
III FƏSİL. HİDROABRAZİV EMAL ÜSULUNUN TƏDQİQAT METODİKASININ İŞLƏNMƏSİ

3.1. Eksperimentlərin aparılması üçün dəzgah və cihazların seçilməsi

Hidroabraziv emal üsulu ilə mürəkkəb konturlu detalların formalaşması və kəsmədə yaranan keyfiyyət parametrlərinin öyrənilməsi RPI FLOW-Gut modelli hidroabraziv kəsmə dəzgahında aparılmışdır [9, s.43]. FLOW-Gut modelli RPI hidroabraziv kəsmə dəzgahının stolunda pəstahın yerləşdirilməsi və kəsilməsi şəkil 3.1.1 a)-da, dəzgahın yandan görünüşünün sxemi isə şəkil 3.1.1 b)-də verilmişdir.



a)



b)

**Şəkil 3.1.1 FLOW-Gut modelli RPI hidroabraziv kəsmə
dəzgahının stolunda pəstahın yerləşdirilməsi, kəsilməsi və sxeminin
görünüşü [9, s.43], [145, s.1]**

a)- dəzgahın stolunda pəstahın yerləşdirilməsi və kəsilməsi;

b)- dəzgahın başlığının yandan görünüşü sxemi.

Seçilmiş dəzgah müstəvi, eləcə də 3D (həcmi) detallarının emalına imkan verir. Dəzgahda qalınlığı 300 mm qədər olan pəstahları kəsmək mümkündür. Şəkil 3.1.1 a) -

da dəzgahın stolunda pəstahın yerləşdirilməsi və kəsilməsi, şəkil 3.1.1 b)-də isə FLOW-Gut markalı dəzgahın başlığının yandan görünüş sxemi verilmişdir [9, s. 43].

Şəkil 3.1.2-də kəsmə prosesində hidroabraziv kəsmə dəzgahının su şırnağının təzyiqini tənzimləyən qurğunun ümumi görünüşü verilmişdir [9, s. 43].



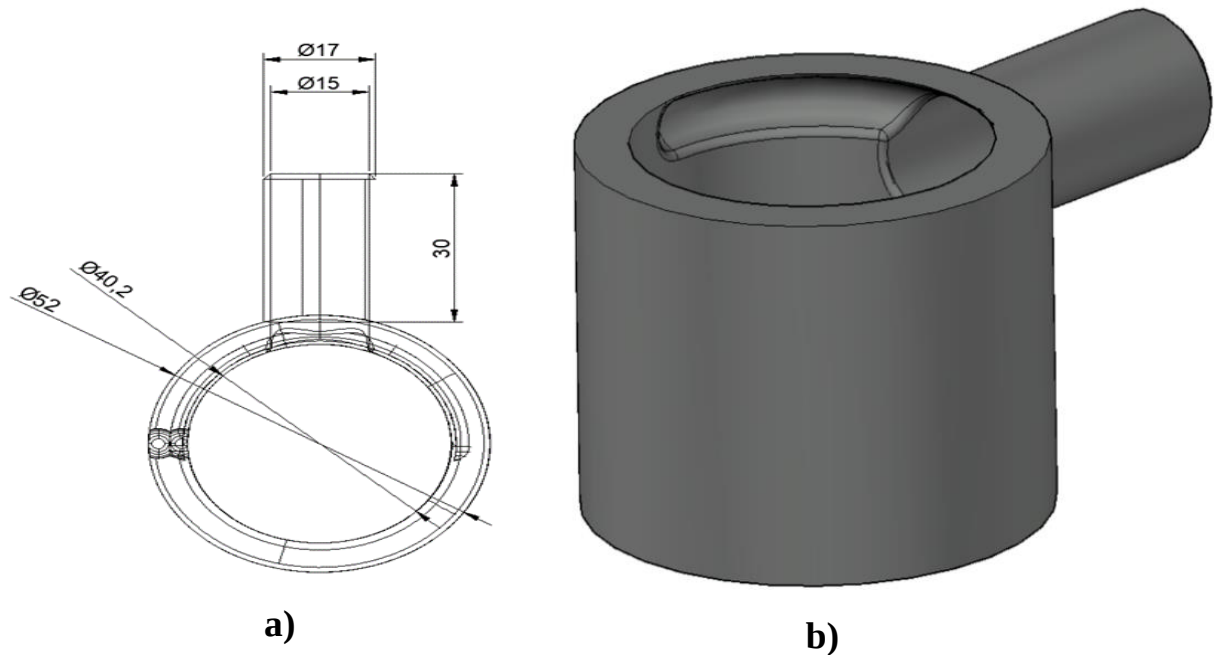
Şəkil 3.1.2 Hidroabraziv kəsmə dəzgahının su şırnağının təzyiqini tənzimləyən qurğunun ümumi görünüşü [9, s. 43]

Burada 1-təzyiqi tənzimləyən boru, 2-hava itkisinin qarşısını almaq üçün yeni konstruksiyalı halqa, 3-yüksək təzyiqli borudur. Göstərilən 2-hava itkisinin qarşısını alan halqanın yeni konstruksiyası iddiaçı tərəfindən işlənmiş və şəkil 3.1.3 a)-da cizgisi və şəkil 3.1.3 b)-də konstruksiyanın ümumi görünüşü verilmişdir.

Şəkil 3.1.3 a)-də halqanın hündürlüyü $H=52$ mm, halqanın daxili diametri $D_1=40,2$ mm, halqanın xarici diametri isə $D_2=52$ mm-dir.

Layihələndirdiyimiz yeni konstruksiyalı hava itkisinin qarşısını alan halqanın konstruktiv xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onun daxilində yerləşən, diametri 19 mm

olan deşiklə görüşən yarım silindirik eni 6 mm, dərinliyi 2,5 mm olan qanov açılır.



Şəkil 3.1.3 Layihələndirilmiş yeni konstruksiyalı hava itkisinin qarşısını alan halqanın cizgisi və ümumi görünüşü

a)- hava itkisinin qarşısını alan halqanın yeni konstruksiyası

b)- konstruksiyanın ümumi görünüşü

Yeni konstruksiyada açılan qanovun funksiyası hesabına halqadan keçən abraziv dənələrini təzyiqlə soran hava axınının itkisini azaltmaq mümkün olmuşdur. Bunun nəticəsində su şırnağı ilə abraziv dənələrinin qarışdırılma keyfiyyəti yüksəlmişdir.

Hidroabraziv emal dəzgahı (şəkil 3.1.1) işçi stoldan, kəsən başlıqdan, kəsən başlığa abraziv dənələrini verən bunkerdən, su-abraziv qarışığını almaq üçün qarışdırıcıdan, müştükdən, pəstahın yerləşdirmə mexanizmindən, kəsən başlığı idarə edən və proqram təminatı ilə təchiz olunmuş kompüter sistemindən ibarətdir. FLOW-Gut modelli hidroabraziv emal dəzgahının ümumi texniki xarakteristikası cədvəl 3.1.1-də verilmişdir.

Kəsən başlıq üç müxtəlif istiqamətdə hərəkəti X,Y,Z oxları üzrə kompüter proqramı vasitəsi ilə idarə edərək detalların emal olunmasını icra edir. Eləcə də

idarəetmə proqramı vasitəsilə dəzgahda abraziv dənələrinin sorulması, su şırnağına qarışdırılması, şırnağın diametrinin tənzimlənməsi, dəzgahda kəsmənin digər kinematik hərəkətlərinin icra olunması aparılır.

Cədvəl 3.1.1

FLOW-Gut modelli hidroabraziv emal dəzgahının ümumi texniki xarakteristikası

Adı	Miqdarı
Nominal təzyiq	4000 bar
İş təzyiqi	3800 bar
Elektrik mühərrikinin gücü	37 kVt
İş sahəsi	2600x1250mm

Şəkil 3.1.4-də dəzgahda abraziv dənələrinin yerləşdirilməsini təmin edən qurğunun ümumi görünüşü, şəkil 3.1.5-də isə eksperimentlərin qoyuluşu zamanı su şırnağının təzyiqlə idarə edilməsi borusunun yeni konstruksiyalı halqa ilə sınağının aparılması fraqmenti verilmişdir.



Şəkil 3.1.4. Dəzgaha abraziv dənələrinin yerləşdirilən qurğunun ümumi görünüşü



Şəkil 3.1.5. Su şırnağını təzyiqlə idarə edən borunun yeni konstruksiyalı halqa

Beləliklə, HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli polad pəstahlarının hidroabrazivlə kəsilməsi üçün seçilmiş dəzgah, qovşaqlar və abraziv dənələrini təzyiqlə soran hava axınının itkisini azaltmaq üçün yeni konstruksiyalı halqanın istifadəsi ilə eksperimentlər aparılmışdır.

3.2. Təcrübələrin riyazi planlaşdırılması

Hidroabraziv kəsmə üsulunda rejim parametrlərinin (giriş parametrlərin) qiymətindən asılı olaraq emal prosesində kəsilən səthdə formalaşan kələ-kötürlüyün, forma xətlərinin, bərkliyin və digər amillərin (çıxış parametrlərin) qiymətlərinin öyrənilməsində eksperimentlərin planlaşdırılmasının böyük əhəmiyyəti vardır. Eksperimentlərin planlaşdırılmasında giriş parametrlərinə qoyulan tələblər və onlardan asılı olaraq təcrübənin çoxfaktorlu həlli bir çox müəlliflər tərəfindən [52, s.5-9], [59, s.1], [60, s.1], [71, s.1], [72, s.1], [58, s.76] öyrənilmişdir.

Dissertasiya işində HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladdan mürəkkəb profil detalların istehsalı hidroabraziv kəsmə üsulu ilə aparıldığı texnoloji prosesdə giriş və çıxış parametrləri arasında yaranan riyazi asılılıqların hesablanması və qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Hidroabraziv kəsmə üsulunda giriş parametrləri olaraq su şırnağının təzyiqi (P , MPa), abraziv dənələrinin bərkliyi (T , MPa), sərfiyyatı (Q , q/l), uzununa verişi (S_{uz} , $mm/dəq$), emal olunan pəstahın qalınlığı (b , mm), axtarılan çıxış parametrləri isə səthin kələ-kötürlüyü (R_a , R_z , mkm), ölçü xətləri (Δ , mkm), bərklik (H_μ MPa) və digər amillər öyrənilmişdir. Təcrübələrin gedişində giriş parametrlərinin hədləri ədəbiyyat və istehsalat təcrübələrindən irəli gələrək müəyyən edilmişdir.

Təcrübələrin planlaşdırılması tam faktorlu 2^3 tipində olan [58, s.76], [70, s.11], [54, s.1], [21, s.59], [42, s.29] matrisaların planlaşdırılması ilə aparılmışdır. Hidroabraziv emalında giriş parametrlərinin hədlərinin dəyişmə intervalları cədvəl 3.2.1-də verilmişdir. Cədvəl 3.2.1-də faktorların kodlaşdırılmış tətbiqi göstərilmişdir [58, s.76].

Faktorların kodlaşdırılması

Amillərin adları və şərti işarələri	Dəyişmə hədləri			Dəyişmə intervalları	Dəyişmənin addımı
	-1	0	+1		
Su şırnağının təzyiqi P, MPa	250,0	300,0	350,0	100,0	50,0
Abraziv dənələrinin sərfiyyatı, Q, qr, l.	85	150	215	130	65
Uzununa veriş, S_{uz} , mm/dəq	26,7	53,4	77,4	51,9	25,35

Təcrübələrin təkrarlanma sayını 3 qəbul edirik.

Eksperimentin planlaşdırılması matrisası cədvəl 3.2.2-də verilmişdir.

Cədvəl 3.2.2

Eksperimentin planlaşdırılması matrisası

Təcrübənin nömrəsi	Amillər			Funksiya
	X_1	X_2	X_3	Ra, mkm
	P, MPa	$Q, qr/l$	$S_{uz}, mm/dəq$	
1	-1	-1	-1	Y_1
2	-1	-1	-1	Y_2
3	-1	-1	1	Y_3
4	-1	-1	1	Y_4
5	-1	1	-1	Y_5
6	-1	1	-1	Y_6
7	-1	1	1	Y_7
8	-1	1	1	Y_8

Təcrübələr aparıldıqdan sonra nəticələrin statistik hesablanması aparılmış, amillərin orta kvadratik meyllənmələrinin dispersiyasını aşağıdakı düsturla tapılmışdır [58, s.76].

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2}{m - 1}, \quad (3.2.1)$$

burada:

$\bar{y}_i$ –amilin üç təkrar təcrübədən alınan qiymətlərinin orta riyazi həddidir, yəni $\bar{y}_i$ aşağıdakı kimi yazılır:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i}{2} . \quad (3.2.2)$$

Orta kvadratik hesablamaların eyniliyini yoxlamaq üçün Koxen kriteriyasından istifadə edirik, yəni [24, s.11]

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S^2} . \quad (3.2.3)$$

Koxren kriteriyasını hesablamaq üçün R_a –nın orta və maksimum qiymətlərini matrisaya əsasən 8 təcrübəni 3 dəfə təkrarlamaqla təyin edək.

$$\begin{aligned} S_{max} &= R_{a.max} = 5,920 \text{ mkm}; \\ S_{orta} &= R_{a.orta} = \left(\frac{\sum_1^2 R_a}{24} \right) = 4,524 \text{ mkm}; \\ G &= \frac{5,920^2}{\sum_{i=1}^N (4,52)} = \frac{35,046}{163,44} = 0,214. \end{aligned}$$

Alınmış nəticəni [58, səh.77], [54, s.12], [21, s.59-60]-da cədvələ əsasən müqayisə edərək tapırıq.

$G_{1-p}(f_1, f_2); p=0.95$; sərbəstlik dərəcəsi $f_1 = m-1=3-1=2$; $f_2=N_2=8$. Cədvələ əsasən $G_{cad}=0,214$ olduğunu nəzərə alsaq, $G < G_{cad}$ – şərti ödənilir, ona görə də alınmış nəticələr adekvatdır.

Beləliklə, hidroabraziv kəsmədə qəbul olunmuş tam faktorlu eksperimentin matrisasına əsasən aparılan təcrübələrin riyazi ifadəsini aşağıdakı kimi vermək olar:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (3.2.4)$$

burada

$$y=R_a;$$

x- giriş parametrlərinin qiymətləri;

b- polinomların reqresiyya əmsalıdır.

Reqresiya əmsallarını tam faktorlu təcrübələrdə aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar [54, s.10].

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{yi} \cdot \bar{y}_i}{N}, \quad (3.2.5)$$

Reqresiya əmsallarını hesablamaq üçün təcrübənin planlaşdırılmış matrisasını quraq. Faktorların natural və ölçüsüz qiymətləri cədvəl 3.2.3- də verilmişdir [54, s.13], [113, s.21591].

Cədvəl 3.2.3

Faktorların natural və ölçüsüz qiymətləri

<i>Təcrübənin nömrəsi</i>	<i>Faktorların natural qiymətləri</i>			<i>Faktorların koordinat sistemində ölçüsüz qiymətləri</i>				<i>Çıxış parametrləri</i>
	Z_1	Z_2	Z_3	X_0	X_1	X_2	X_3	y
1	250	85	26,7	+1	-1	-1	-1	4,524
2	350	85	26,7	+1	1	-1	-1	4,965
3	250	215	26,7	+1	-1	+1	-1	5,153
4	350	215	26,7	+1	1	+1	-1	5,417
5	250	85	77,4	+1	-1	-1	+1	3,994
6	350	85	77,4	+1	1	-1	+1	2,718
7	250	215	77,4	+1	-1	+1	+1	3,931
8	350	215	77,4	+1	1	+1	+1	3,072

Faktorların addımının hesablanması aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir [54, s.12], [21, s.59-60], [62, s.61]:

$$Z_1^0 = \frac{250+350}{2} = 300; \quad Z_2^0 = \frac{85+215}{2} = 110; \quad Z_3^0 = \frac{26,7+77,4}{2} = 52,05; \quad (3.2.6)$$

$$\Delta Z_1 = \frac{350-250}{2} = 50; \quad \Delta Z_2 = \frac{215-85}{2} = 65; \quad \Delta Z_3 = \frac{77,4-26,7}{2} = 25,35.$$

Regressiya əmsallarını (3.2.5) düsturuna əsasən hesablayaq [54, s.12-13].

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 4,22175 \\
 b_1 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = -0,17875 \\
 b_2 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 0,17150 \\
 b_3 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = -0,79300
 \end{aligned} \tag{3.3.7}$$

Digər regressiya əmsallarını (b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123}) aşağıdakı düstürlə hesablayırıq [54, s.10]:

$$\begin{aligned}
 b_{12} &= \frac{\sum_{i=0}^N (x_1 x_2) y_i}{N} \\
 b_{13} &= \frac{\sum_{i=0}^N (x_1 x_3) y_i}{N} \\
 b_{23} &= \frac{\sum_{i=0}^N (x_2 x_3) y_i}{N} \\
 b_{123} &= \frac{\sum_{i=0}^N (x_1 x_2 x_3) y_i}{N}
 \end{aligned} \tag{3.2.8}$$

burada:

x_1, x_2, x_3 - faktorların ölçüsüz qiymətləri; y_i –çıxış parametrləri; b_j – regressiv əmsaldır.

Cədvələ əsasən [58, s.78] b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} - əmsallarını aşağıdakı kimi hesablayırıq.

$$\begin{aligned}
 b_{12} &= \frac{1}{8} \sum_{i=0}^n x_1 x_2 y_i = 0,03000; \\
 b_{13} &= \frac{1}{8} \sum_{i=0}^n x_1 x_3 y_2 = -0,35500; \\
 b_{23} &= \frac{1}{8} \sum_{i=0}^n x_2 x_3 y_i = -0.09875; \\
 b_{123} &= \frac{1}{8} \sum_{i=0}^n x_1 x_2 x_3 y_i = 0.07425;
 \end{aligned} \tag{3.2.9}$$

Üç faktorlu eksperiment üçün alınan regressiya tənliyi aşağıdakı kimi olacaq:

$$y(x_1x_2x_3) = 4,22175 - 0,17875x_1 + 0,17150x_2 - 0,79300x_3 + 0,03x_1x_2 - 0,355x_1x_3 - 0,0987x_2x_3 + 0,07425x_1x_2x_3 \quad (3.2.10)$$

Üç faktorlu eksperiment üçün alınan kodlaşdırılmış reqresiya tənliyi isə aşağıdakı kimi olacaq:

$$Y_1 = 4,22175 - 0,17875 \cdot X_1 + 0,17150 \cdot X_2 - 0,79300 \cdot X_3 + 0,0300 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,355 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0987 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,07425 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3.2.11)$$

Burada $Y_1 = 3,072$ mkm alınır və bu R_a -nın təcrübədən alınan qiymətidir. (3.2.11)-ci tənlikdən göründüyü kimi uzununa verişin qiyməti kələ-kötürlüyə daha çox təsir edən amildir, çünki X_3 parametrinin əmsalı (yəni uzununa verişin qiyməti) 0,793-ə bərabər olub digər amillərin əmsallarından çoxdur. Kələ-kötürlüyə təsir göstərən cüt faktorlar X_1X_3 -dür. X_2X_3 cütliyüdə kələ-kötürlüyə təsir edən amillərdəndir. X_2 faktoru abraziv dənələrinin miqdarının kələ-kötürlüyə daha çox təsir göstərən parametrdir. Abraziv dənələrinin sərfiyatının yüksəlməsindən sonra X_1 parametri, yəni su şırnağı təsir edir. Beləliklə X_2, X_1X_2 və $X_1X_2X_3$ kələ-kötürlüyə təsiri artır və bu faktorların artması kələ-kötürlüyə mənfi təsir göstərir. X_1, X_3, X_1X_3 və X_2X_3 kələ-kötürlüyü azaldır və amillərin artması kələ-kötürlüyə müsbət təsir göstərir.

Kələ-kötürlüyün asılılığında iştirak edən faktorların natural qiymətləri aşağıdakı kimi olacaqdır.

$$z_1 = x_1^{max} = 350 ; \quad x_1^{min} = 250 ; \quad x_1^0 = \frac{350+250}{2} = 300 ; \quad \Delta x_1^0 = \frac{350-250}{2} = 50;$$

$$z_2 = x_2^{max} = 215 ; \quad x_2^{min} = 85 ; \quad x_2^0 = \frac{215+85}{2} = 150 ; \quad \Delta x_2^0 = \frac{215-85}{2} = 65;$$

$$z_3 = x_3^{max} = 77,4 ; \quad x_3^{min} = 26,7 ; \quad x_3^0 = \frac{77,4+26,7}{2} = 52,05 ; \quad \Delta x_3^0 = \frac{77,4-26,7}{2} = 25,35$$

Faktorların natural qiymətlərinin alınmış tənliyini nəzərə almaqla ifadəni aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$R_a(P, Q, S_{uz}) = R_a(P, Q, S_{uz}) = b_0 - 0,17875 \cdot \frac{p^{max} - p^0}{\Delta p_b^0} +$$

$$0,17150 \frac{Q^{max} - Q^0}{\Delta Q} - 0,793 \frac{S^{max} - S^0}{\Delta S^0} + 0,03 \cdot \frac{p^{max} - p^0}{\Delta p_b^0} \cdot \frac{Q^{max} - Q^0}{\Delta Q} - 0,355 \cdot$$

$$\frac{p^{max} - p^0}{\Delta p_b^0} \cdot \frac{S^{max} - S^0}{\Delta S^0} - 0,0987 \cdot \frac{Q^{max} - Q^0}{\Delta Q} \cdot \frac{S^{max} - S^0}{\Delta S^0} + 0,07425 \cdot \frac{p^{max} - p^0}{\Delta p_b^0} \cdot \frac{Q^{max} - Q^0}{\Delta Q} \cdot$$

$$\frac{S^{max} - S^0}{\Delta S^0}$$

Aşağıda giriş amillərinin maksimum və minimum qiymətlərinə uyğun olan kələ-kö-türlüyün hesablanması verilmişdir.

$$R_a(P, Q, S_{uz}) = 4,22175 - 0,17875 \frac{p^{max} - 300}{50} +$$

$$0,17150 \frac{Q^{max} - 150}{65} - 0,793 \frac{S^{max} - 53.4}{25.35} + 0,03 \cdot \frac{p^{max} - 300}{50} \cdot \frac{Q^{max} - 150}{65} - 0,355 \cdot$$

$$\frac{p^{max} - 300}{50} \cdot \frac{S^{max} - 53.4}{25.35} - 0,0987 \cdot \frac{Q^{max} - 150}{65} \cdot \frac{S^{max} - 53.4}{25.35} + 0,07425 \frac{p^{max} - 300}{50}$$

$$\frac{p^{max} - 300}{50} \cdot \frac{S^{max} - 53.4}{25.35} = 3,085551$$

Riyazi hesablamaların dispersiyasını qiymətləndirmək üçün orta dispersiyasını hesablayaq [58, s.77]:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=0}^n S_i^2}{N} = \frac{3,638^2}{8} = 1,65,$$

$$S = \sqrt{1,65} = 1,286.$$

Fişer kriteriyasına əsasən reqresiya tənliyinin adekvatlığını yoxlayaq [58, s.79].

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{cox}^2},$$

buradan;

$$S_{ad}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_l - y_i)}{N - L}$$

burada

L-əmsalların sayıdır.

$$S_{ad}^2 = \frac{3 \cdot 0,84}{8 - 7} = 2,52;$$

$$F = \frac{2,52}{1,65} = 1,52.$$

Alınmış nəticələri müvafiq cədvələ [58, s.86] əsasən müqayisə etdikdə, dəyişmə səviyyəsi $p=0,95$; dispersiyanın adekvatlığı $f_1=N-L=8-7=1$ olduqda, sərbəstlik dərəcəsi $f_2 = N(m-1) = 8 \cdot (3-1)=16$ olarkən, $F_{cədv} = 3,63$ olur. Hesablama nəticəsində alınan kəmiyyət $F_{hes} = 1,52$ -dir. Deməli $F_{hes} < F_{cədv}$, alınmış tənliyin modeli adekvatdır [58, s.86].

Səthin kələ-kötürlüyünün (R_a) giriş parametrlərindən asılı olaraq planlaşdırılmış matrisaya əsasən təcrübədən alınmış qiymətləri cədvəl 3.2.4-də verilmişdir [113, s.21591].

Cədvəl 3.2.4

Kələ-kötürlüyün (R_a) giriş parametrlərindən asılı olaraq planlaşdırılmış matrisaya əsasən təcrübədən alınmış qiymətləri

<i>Təcrübənin nömrəsi</i>	$X_1(P),$ MPa	$X_2(Q),$ qr/l	$X_3,$ (S_{uz}) mm/dəq	X_0	X_1	X_2	X_3	Y_1
1	250	85	26,7	+1	-1	-1	-1	4,524
2	350	85	26,7	+1	1	-1	-1	4,965
3	250	215	26,7	+1	-1	+1	-1	5,153
4	350	215	26,7	+1	1	+1	-1	5,417
5	250	85	77,4	+1	-1	-1	+1	3,994
6	350	85	77,4	+1	1	-1	+1	2,718
7	250	215	77,4	+1	-1	+1	+1	3,931
8	350	215	77,4	+1	1	+1	+1	3,072

Üç faktorlu eksperiment üçün alınan reqressiya tənliyinin faktorlarının maximum qiymətlərində düsturu aşağıdakı kimi olacaq:

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

R_a -nın faktorların maximum qiymətləri ilə təcrübədən alınmış kələ-kötürlüyün orta qiymətinin reqresiya tənliyi ilə hesabladığıda alınan qiymət aşağıdakı kimidir:

$$R_a = -0,01 + 0,0163 \cdot 50 + 0,017 \cdot 215 + 0,102 \cdot 77,4 - 0,000038 \cdot 350 \cdot 215 - 0,00042 \cdot 350 \cdot 77,4 - 0,000339 \cdot 215 \cdot 77,4 + 0,000001 \cdot 350 \cdot 215 \cdot 77,4 = 3,085551 \text{ mkm}.$$

Nəzəri və təcrübədən alınmış kələ-kötürlüyün faizlə miqdarı:

Rejim parametrləri: $P_{\max} = 350 \text{ Mpa}$; $Q^{\max} = 215 \text{ qr/ litr}$; $S_{\text{uz.}}^{\max} = 77,4 \text{ mm}$ dəq olduda R_a təcrübə = 3,072 mkm; R_a hesabı = 3,085551 mkm-dir.

Xətanın faizlə hesablanması: $X = (3,085551 - 3,072) \cdot 100 / 3,085551 = 0,439\%$.

Beləliklə, xətanın qiyməti 0,439% - dir.

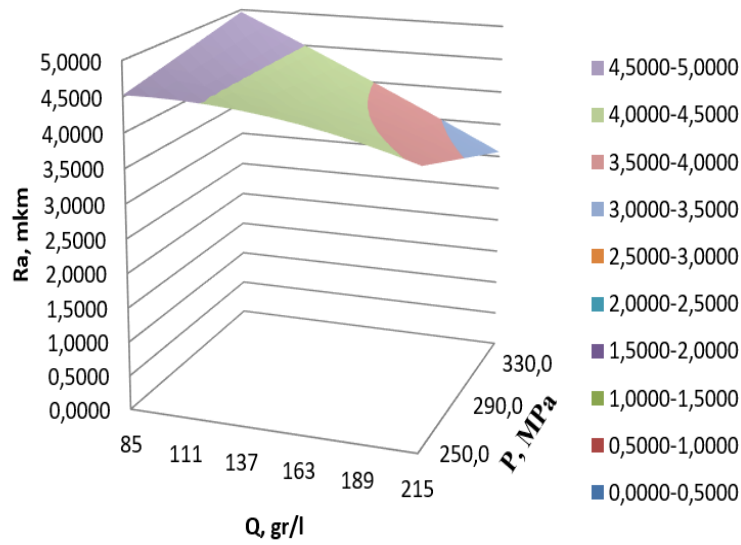
Excel proqramının tətbiqi ilə R_a -nın amillərdən asılı olaraq riyazi asılılığının nəzəri hesabatları nəticəsində verişin dəyişməsindən alınan qiymətlər cədvəl 3.2.5-də və qrafik 3.2.1-də verilmişdir [62, s.63].

Cədvəl 3.2.5

R_a -nın Excel proqramı ilə hesablanmış uzununa verişdən asılılığının nəzəri qiymətlərinin cədvəli

		26,7	31,77	36,84	41,91	46,98	52,05	57,12	62,19	67,26	72,33	77,4
		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
		85	98	111	124	137	150	163	176	189	202	215
-1	250	4,524	4,527	4,516	4,49	4,452	4,400	4,334	4,254	4,160	4,052	3,931
-0,8	260	4,568	4,552	4,524	4,484	4,430	4,364	4,286	4,194	4,090	3,974	3,845
-0,6	270	4,612	4,578	4,533	4,476	4,408	4,329	4,237	4,135	4,021	3,896	3,759
-0,4	280	4,656	4,604	4,541	4,469	4,386	4,293	4,189	4,076	3,952	3,817	3,67
-0,2	290	4,700	4,630	4,550	4,461	4,364	4,257	4,141	4,016	3,882	3,739	3,587
0	300	4,744	4,655	4,559	4,454	4,342	4,221	4,093	3,957	3,813	3,661	3,501
0,2	310	4,788	4,681	4,567	4,447	4,319	4,186	4,045	3,897	3,743	3,583	3,415
0,4	320	4,832	4,707	4,576	4,439	4,297	4,150	3,997	3,838	3,674	3,504	3,329
0,6	330	4,876	4,733	4,584	4,43	4,275	4,114	3,949	3,779	3,605	3,426	3,243
0,8	340	4,921	4,758	4,593	4,425	4,253	4,078	3,900	3,719	3,535	3,348	3,157
1	350	4,965	4,784	4,602	4,417	4,231	4,043	3,852	3,660	3,466	3,270	3,072

Ra üçün massiv üzrə səth



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

3.3. Hidroabraziv emalda bərkliyin çox faktorlu eksperimentlərinin riyazi modelinin çıxarılması

Bərkliyə təsir edən amillərin qiymətləri və dəyişmə intervalları kodlaşdırılmış şəkildə cədvəl 3.2.1-də (fəsil 3.2.) verilmişdir [58, s.76]. Bərkliyin planlaşdırılmış matrisaya əsasən aparılmış təcrübələrin nəticələri cədvəl 3.3.1-də verilmişdir.

Cədvəl 3.3.1.

Bərkliyin planlaşdırılmış matrisaya əsasən aparılmış təcrübələrin nəticələri

Təcrübə-nin nömrəsi	Faktorların natural qiymətləri			Faktorların kordinat sistemində ölçüsüz kodlaşdırılmış qiymətləri				Çıxış parametr-ləri
	Z_1 MPa	Z_2 qr.	Z_3 mm/dəq	X_0	X_1	X_2	X_3	y
1	250	85	26,7	+1	-1	-1	-1	529
2	350	85	26,7	+1	1	-1	-1	531
3	250	215	26,7	+1	-1	+1	-1	551
4	350	215	26,7	+1	1	+1	-1	568
5	250	85	77,4	+1	-1	-1	+1	646
6	350	85	77,4	+1	1	-1	+1	662
7	250	215	77,4	+1	-1	+1	+1	670
8	350	215	77,4	+1	1	+1	+1	696

Beləliklə, hidroabraziv kəsmədə qəbul olunmuş tam faktorlu eksperimentin matrisasına əsasən aparılan təcrübələrin riyazi ifadəsini aşağıdakı kimi vermək olar:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (3.3.1)$$

burada

$$y = H_{\mu};$$

x- giriş parametrlərinin qiymətləri;

b- polinomların reqresiya əmsalıdır.

3.3.1 tənliyində b_i -nin əmsalları cədvəl 3.3.1-ə uyğun müəyyən olunur.

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 606,625; \\ b_1 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 7,625; \\ b_2 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 14,625; \\ b_3 &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 61,875; \\ b_{12} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_1x_2y_i = 3,125; \\ b_{13} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_1x_3y_i = 2,875; \\ b_{23} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_2x_3y_i = -0,125; \\ b_{123} &= \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_1x_2x_3y_i = -0,625; \end{aligned} \quad (3.3.4)$$

Bərkliyin dispersiyasının maksimum qiyməti;

$$S_{max} \frac{\sum_{i=1}^8 H_{\mu}}{8} = \frac{\sum_{i=1}^8 (y_{max} - y_{min})}{8} = \frac{167+141+133+117+39+22+4+0}{8} = 77,875 \quad (3.3.5)$$

Bərkliyin paylanma dispersiyasının orta qiyməti

$$S_{ort} = \sum_{i=1}^{\mu} H_{\mu \text{ dis}} = 623. \quad (3.3.6)$$

Koxren kriteriyası aşağıdakı kimi hesablanır.

$$G = \frac{(S_{max})^2}{(\sum_{i=1}^8 H_{\mu \text{ dis}})^2} = \frac{(77,875)^2}{(623)^2} = 0,016. \quad (3.3.7)$$

[58, s.77], [70, s.19] ədəbiyyatlara görə Koxren əmsalının cədvəl qiyməti aşağıdakı kimi olacaq

$$G_{cad} = 0,516$$

Hesablanmış ədəd cədvəl qiymətinə yaxındır.

Hidroabrazivlə Hardox-500 markalı poladın kəsilməsində faktorlarla natural qiymətdə tam faktorlu riyazi reqresiya düsturu aşağıdakı kimi olacaq.

$$H\mu = 606,625 + 7,625X_1 + 14,625X_2 + 61,875X_3 + 3,125X_1X_2 + 2,875X_1X_3 - 0,125X_2X_3 - 0,625X_1X_2X_3 \quad (3.3.8)$$

(3.3.8)-cı tənlikdən göründüyü kimi X_3 parametri (yəni uzununa verişin qiyməti) bərkliyə daha çox təsir göstərən amildir, çünki onun əmsalı 61,875-ə bərabər olub digər amillərin əmsallarından çoxdur. X_3 amilindən sonra bərkliyə daha çox təsir göstərən X_2 parametri, yəni abraziv dənələrinin sərfiyatının yüksəlməsi, daha sonra X_1 parametri, yəni su şırnağının təsiri düşür. Cüt təsir edən amillərdə X_1X_2 , yəni su şırnağının təzyiqi və abrazivin miqdarının dəyişməsi təsir edir.

(6)-cı düsturdan göründüyü kimi $X_1X_2X_3$, X_1X_2 və X_1X_3 parametrlərinin əmsalları müsbət, X_2X_3 və $X_1X_2X_3$ parametrlərinin əmsalları mənfi qiymətlə təsir göstərir.

Faktorların addımının hesablanması aşağıdakı kimi yerinə yetirilir [54, s.12], [21, s.59-60], [62, s.61]:

$$\begin{aligned} Z_1^0 &= \frac{Z_1^{max} + Z_1^{min}}{2} = 300; \\ Z_2^0 &= \frac{Z_2^{max} + Z_2^{min}}{2} = 150; \\ Z_3^0 &= \frac{Z_3^{max} + Z_3^{min}}{2} = 52,05; \\ \Delta Z_1 &= \frac{Z_1^{max} - Z_1^{min}}{2} = 50; \\ \Delta Z_2 &= \frac{Z_2^{max} - Z_2^{min}}{2} = 65; \\ \Delta Z_3 &= \frac{Z_3^{max} - Z_3^{min}}{2} = 25,35. \end{aligned} \quad (3.3.9)$$

Yeni ölçüsüz X_1, X_2, X_3 koordinat sistemlərinə keçid çevrilmələrin köməyi ilə yerinə yetirilir.

$$\begin{aligned}
X_1 &= \frac{P-Z_1^0}{\Delta Z_1} = \frac{P-300}{50} = \frac{50}{50}; \\
X_2 &= \frac{Q-Z_2^0}{\Delta Z_2} = \frac{Q-150}{65}; \\
X_3 &= \frac{S_{np}-Z_3^0}{\Delta Z_3} = \frac{S_{np}-5.2,5}{25,35}.
\end{aligned}
\tag{3.3.10}$$

Regresiya tənliyini (3.3.8) natural qiymətlərlə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$\begin{aligned}
H\mu &= b_0 + b_1 \cdot \frac{p^{max}-p^0}{\Delta p^0} + b_2 \frac{Q^{max}-Q^0}{\Delta Q^0} - b_3 \frac{S^{max}-S^0}{\Delta S^0} + b_{12} \cdot \frac{p^m-p^0}{\Delta p^0} \cdot \\
&\frac{Q^m-Q^0}{\Delta Q^0} + b_{13} \cdot \frac{p^m-p^0}{\Delta p^0} \cdot \frac{S^m-S^0}{\Delta S} + b_{23} \cdot \frac{Q^m-Q^0}{\Delta Q^0} \cdot \frac{S^m-S^0}{\Delta S^0} + b_{123} \cdot \frac{p^m-p^0}{\Delta p^0} \cdot \frac{Q^m-Q^0}{\Delta Q^0} \cdot \\
&\cdot \frac{S^m-S^0}{\Delta S^0} \cdot 1
\end{aligned}
\tag{3.3.11}$$

Aparılmış hesablamalardan sonra HARDOX-500 markalı poladın P, Q və S-dən asılılıq tənliyi aşağıdakı kimi olacaq:

$$\begin{aligned}
H\mu &= 495,9440266 - 0,169021328 * P - 0,177969924 * Q + \\
&1,430359217 * S + 0,001356 * P * Q + 0,003406 * P * S + 0,0022 * \\
&Q * S - 0,000008 * P * Q * S.
\end{aligned}
\tag{3.3.12}$$

Alınmış regresiya tənliyi vasitəsilə faktorların maksimal qiymətlərindəki rejimlərə əsasən bərkliyin nəzəri hesablanması baxaq.

$$\begin{aligned}
P^{max} &= 350 \text{ Mpa}; \\
Q^{max} &= 215 \frac{q}{d\sigma q}; \\
S^{max} &= 77,4 \text{ mm/d}\sigma q; \\
H_{\mu \text{ nəzəri}} &= 693,5557.
\end{aligned}$$

Götürülmüş rejimlərdə təcrübələrdən alınan bərklik $H_{\mu \text{ təcrübə}} = 696 \text{ MPa}$ -dır.

Hesablamalardan məlum olur ki, nəzəri alınmış qiymət $693,5557 \text{ MPa}$ və təcrübədə alınmış bərkliyin qiymətləri arasında 2,4442 vahid, yəni 0,35% fərq verir.

Bərkliyin nəzəri qiymətlərini yuvarlaşdıraraq daha kiçik fərq almaq olur və bu aşağıdakı ifadə kimi yazılır.

$$H=495,944-0,169*P-0,178*Q+1,43*S+0,0014*P*Q+0,0034*P*S+0,0022*Q*S-0,000008*P*Q*S$$

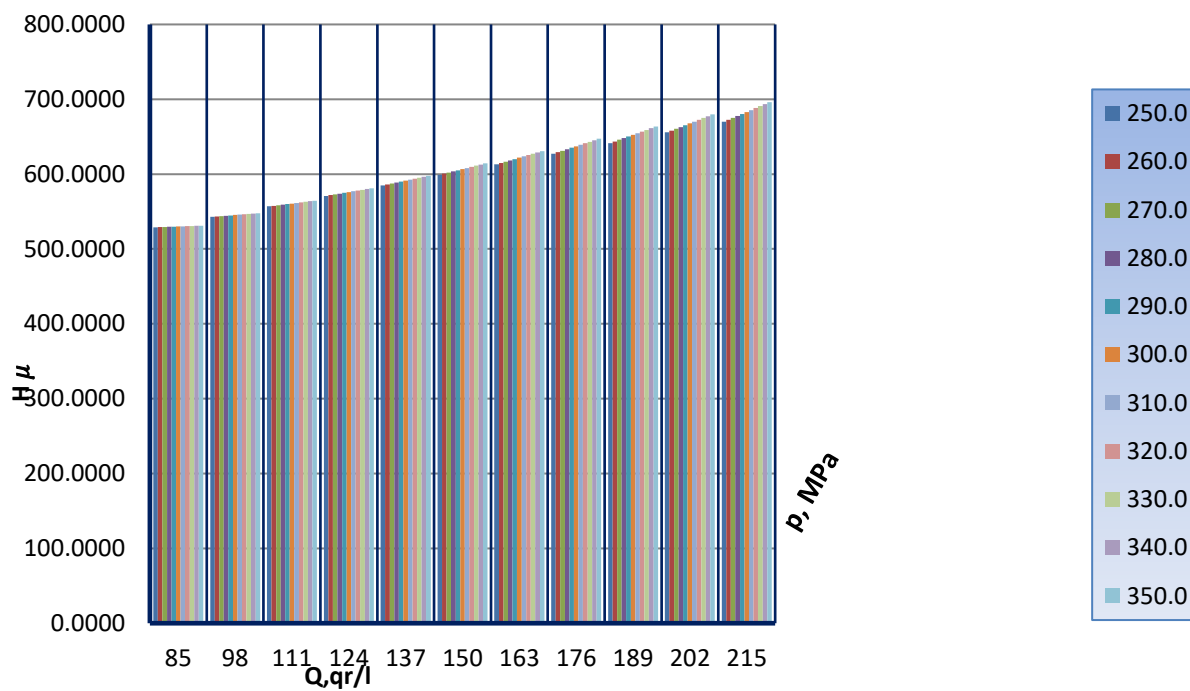
Beləliklə hesablamalardan məlum olur ki, nəzəri alınmış qiymət 696,6774 və təcrübədə alınmış bərkliyin qiymətləri arasında -0,6774 vahid, yəni 0,10% fərq verir.

Excel proqramının tətbiqi ilə H_{μ} –nın amillərdən asılı olaraq riyazi asılılığının nəzəri hesabatları nəticəsində verişin dəyişməsiindən alınan qiymətlər cədvəl 3.2.6-də və qrafik 3.2.2, 3.2.3 və 3.2.4-də verilmişdir.

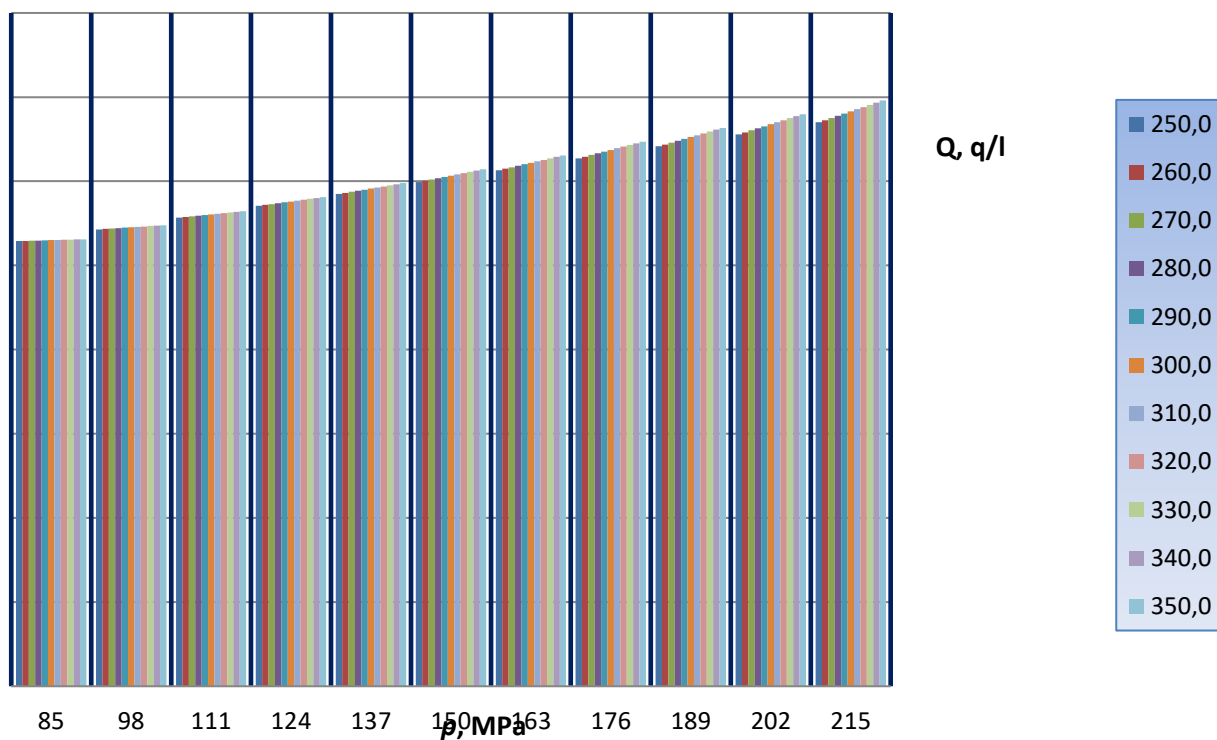
Cədvəl 3.2.6.

H_{μ} -nin avtomatik tapılması üçün cədvəlin qurulması

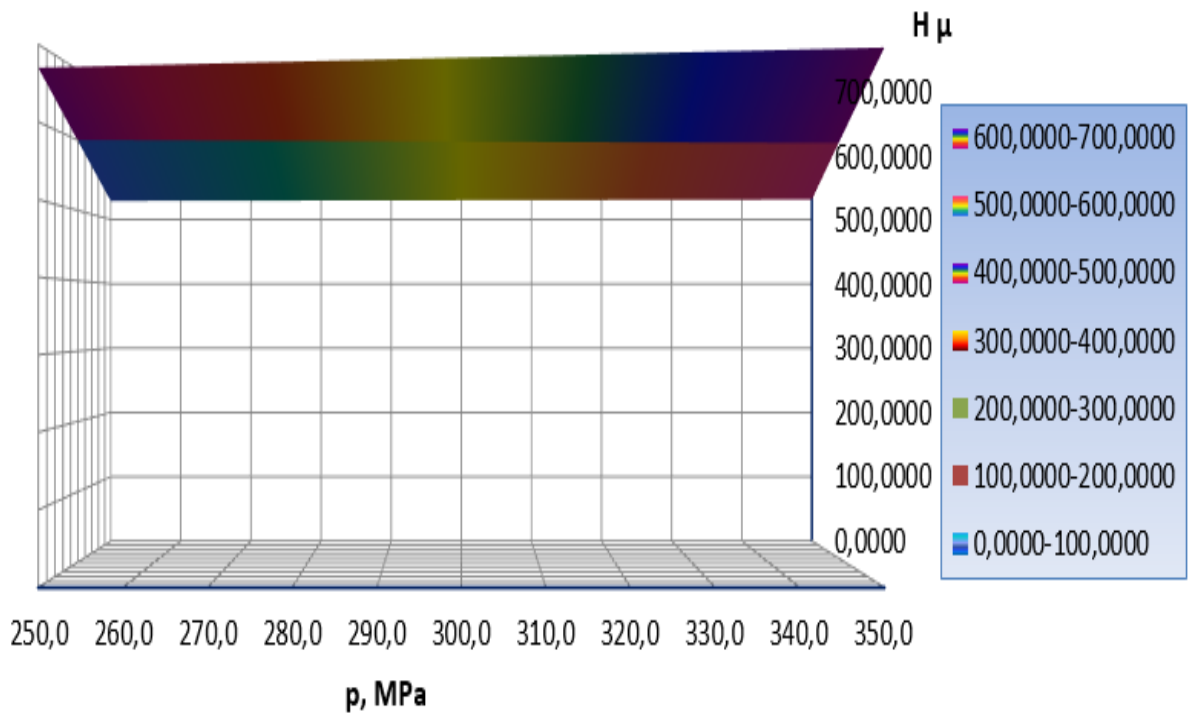
		26.7	31.77	36.84	41.91	46.98	52.05	57.12	62.19	67.26	72.33	77.4
		-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
		85	98	111	124	137	150	163	176	189	202	215
-1	250.0	529.0000	542.9200	556.8800	570.8800	584.9200	599.0000	613.1200	627.2800	641.4800	655.7200	670.0000
-0.8	260.0	529.2000	543.4050	557.6400	571.9050	586.2000	600.5250	614.8800	629.2650	643.6800	658.1250	672.6000
-0.6	270.0	529.4000	543.8900	558.4000	572.9300	587.4800	602.0500	616.6400	631.2500	645.8800	660.5300	675.2000
-0.4	280.0	529.6000	544.3750	559.1600	573.9550	588.7600	603.5750	618.4000	633.2350	648.0800	662.9350	677.8000
-0.2	290.0	529.8000	544.8600	559.9200	574.9800	590.0400	605.1000	620.1600	635.2200	650.2800	665.3400	680.4000
0	300.0	530.0000	545.3450	560.6800	576.0050	591.3200	606.6250	621.9200	637.2050	652.4800	667.7450	683.0000
0.2	310.0	530.2000	545.8300	561.4400	577.0300	592.6000	608.1500	623.6800	639.1900	654.6800	670.1500	685.6000
0.4	320.0	530.4000	546.3150	562.2000	578.0550	593.8800	609.6750	625.4400	641.1750	656.8800	672.5550	688.2000
0.6	330.0	530.6000	546.8000	562.9600	579.0800	595.1600	611.2000	627.2000	643.1600	659.0800	674.9600	690.8000
0.8	340.0	530.8000	547.2850	563.7200	580.1050	596.4400	612.7250	628.9600	645.1450	661.2800	677.3650	693.4000
1	350.0	531.0000	547.7700	564.4800	581.1300	597.7200	614.2500	630.7200	647.1300	663.4800	679.7700	696.0000



Qrafik 3.2.2 Bərkliyin massiv üzrə səth görünüşü



Qrafik 3.2.3 Bərkliyin massiv üzrə səthinin yuxarıdan görünüşü



**Qafik 3.2.4 Bərkliyin massiv üzrə səthin horizontal
(qabaqdan) görünüşü**

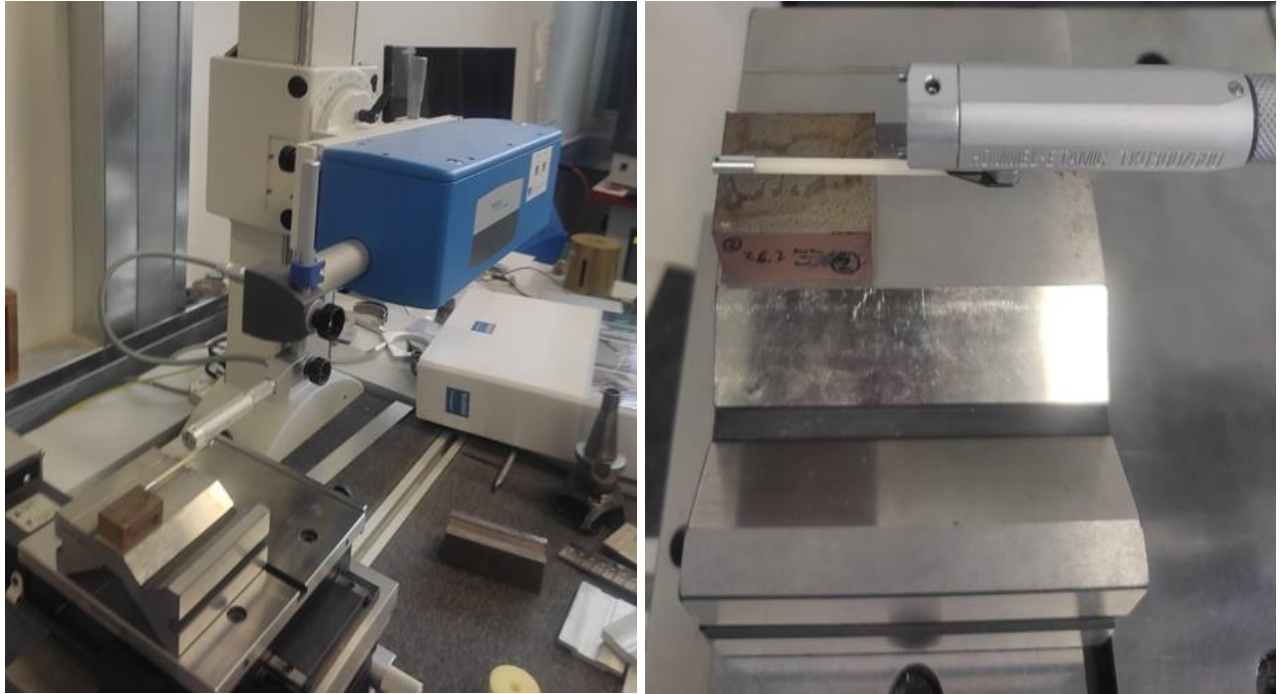
3.4. Hidroabraziv kəsmədə səthin kələ-kötürlüyü, forma xətalı və bərkliyin tədqiqat metodları və cihazları

3.4.1. Kələ-kötürlüyün və forma xətalının tədqiqi

Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladlardan çox konturlu profilə malik detalların istehsalında emal səthində yaranan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyü və R_{max} maksimum hündürlüyünün [110, s.63], [111, s.26] öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat metodikasına əsasən hidroabraziv kəsmədə pəstahın hündürlüyü üzrə üç müxtəlif səthlərdə [112, s.81-82] fərqli rejim parametrlərində alınan kələ-kötürlüyün qiymətləri tədqiq olunmuşdur. Kələ-kötürlük amilləri, eləcə də eyni zamanda kəsmədə yaranan ölçü xətalı proqramlı təminatla idarə olunan “JENOPTİK” kələ-kötürlüyü

ölçən cihazla tədqiq edilmişdir. Cihazın ümumi görünüşü şəkil 3.4.1 a)-da və ölçmə başlığı isə şəkil 3.4.1 b)-də verilmişdir [5, s.50].



a)

b)

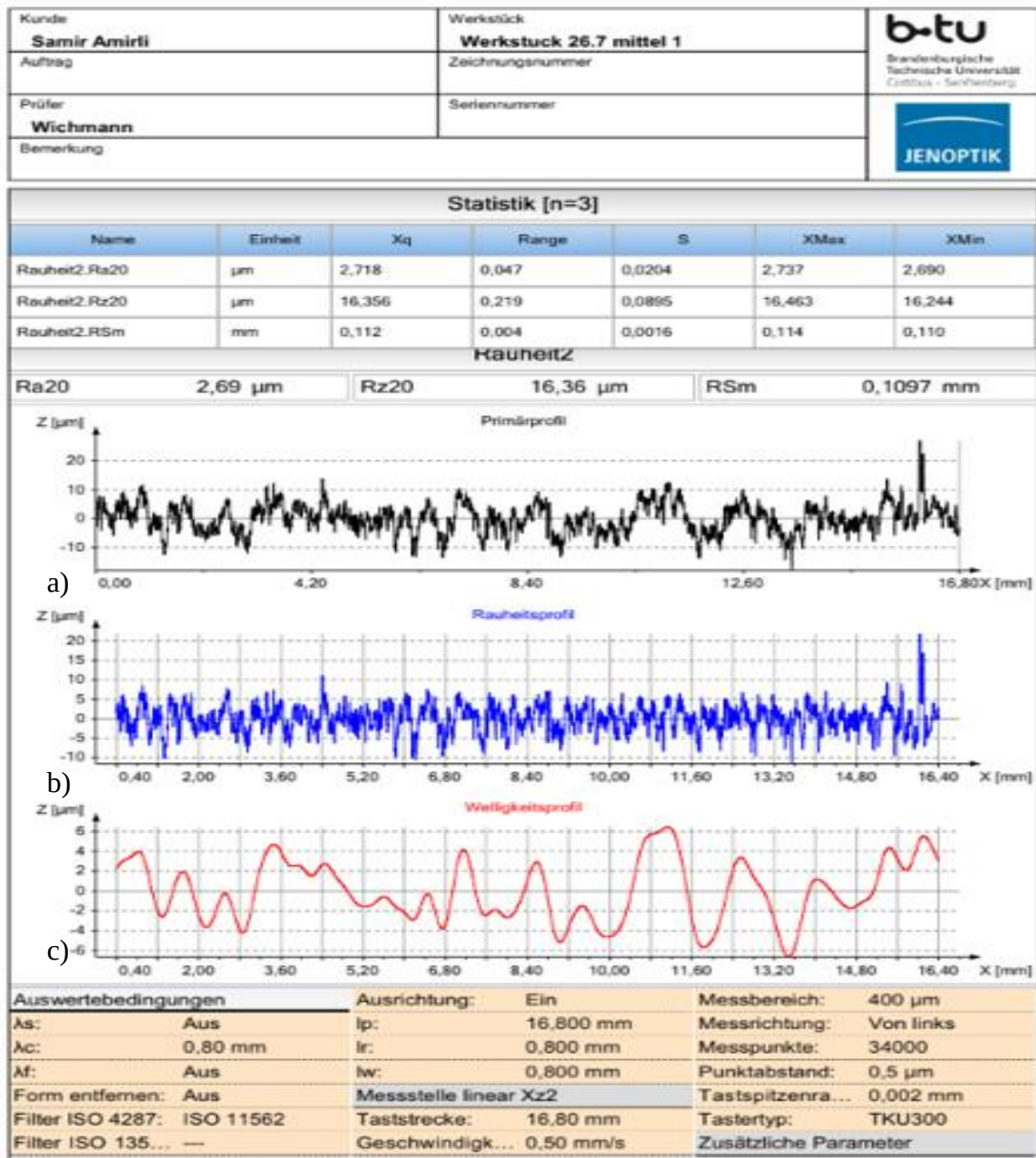
Şəkil 3.4.1 Kələ-kötürlüyü ölçən cihazda (JENOPTİK) ölçmə nümunəsi

a)- Cihazın ümumi görünüşü; b)- Ölçmə başlığı.

Kələ-kötürlüyün ölçülməsi zamanı cihaz avtomatik olaraq alınmış nəticələrə əsaslanaraq R_a və R_{max} ölçü xətlərinin qrafikini qurur. Həmin qrafiklərdən nümunə kimi şəkil 3.4.2-də verilmişdir.

Şəkil 3.4.2. a)-da ölçmədə alınan R_a -nın emal olunmuş səthin uzunluğu boyunca paylanması, şəkil 3.4.2. b)-də R_{zmax} -un paylanması, şəkil 3.4.1. c)-də isə ölçmə zamanı alınan dalğavariliyin qrafiki göstərilmişdir.

Tədqiqatlarda forma xətlərinin tədqiqatında əsasən emal olunmuş səthin dalğavariliyi və xətti ölçülərinin sapmaları öyrənilmişdir. Bu xətlərin təyini proqram təyinatlı “JENOPTİK” cihazında yerinə yetirilmişdir [5, s.50]. Alınmış nəticələr dördüncü fəsilin müvafiq bölmələrində öz şərhini tapmışdır.



Şəkil 3.4.2 Kələ-kötürlüyün parametrlərinin (R_a və R_{max} , S_m) ölçü xətlərinin qrafiki

a)- R_a -nın emal olunmuş səthin uzunluğu boyunca paylanması, b)- R_{zmax} -un paylanması, c)- dalğavarilik

3.4.2. Bərkliyin tədqiqi metodikası və cihazlar

HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladdan hidroabraziv kəsmə üsulu ilə çox tiyəli kontura malik maşın hissələrinin hazırlanmasında kəsilən səthlərdə bərkliyin dəyişməsinin öyrənilməsi vacib texnoloji parametrlərdən biridir [3, s.29]. Təcrübənin

proqramına əsasən [4, s.440] poladın hidroabrazivlə kəsilməsində uzunluğu 30 mm, eni 20 mm, hündürlüyü isə 15 mm olan pəstahın üzərində eksperimentlər aparılmışdır. Bərkliyin tədqiqi HECKERT modeli bərkliyi ölçən cihaz vasitəsilə öyrənilmişdir. Cihaz proqram təminatına əsaslanaraq bərkliyi ölçür, alınmış nəticələri avtomatik olaraq cədvəl və qrafiklər şəklində tərtib edir. Cihazın ümumi görünüşü şəkil 3.4.3-də verilmişdir [64, s.19].

Proqrama əsasən HADOX-500 markalı polad pəstahın hidroabrazivlə kəsmədən əvvəl olan bərkliyi 6 müxtəlif nöqtələrdə ölçülür, daha sonra K120 markalı abraziv dairəsi ilə pəstahın səthi təmizlənir və yenidən həmin səthdə bərklik ölçülür [64, s.19]. Bu halda götürülmüş pəstahın uzunluğu 100 mm, eni 20 mm və hündürlüyü isə 10 mm olmuşdur.

Hidroabrazivlə pəstahı müxtəlif kəsmə rejimlərində kəsməklə bərkliklərin dəyişmə hədləri öyrənilmiş və alınmış nəticələr dördüncü fəsilin üçüncü bölməsində cədvəl 4.3.1., 4.3.2., 4.3.3., 4.3.4., 4.3.5., şəkil 4.3.1., 4.3.3., 4.3.4., 4.3.5. və 4.3.6-da qrafiklərdə verilmişdir. Hidroabraziv kəsmədə pəstahın qalınlığının müxtəlif ölçüdə (qiymətlərdə) götürülməsi kontakt zonasında yonqarəmələgəlmənin bərkliyə təsirinin araşdırılmasına imkan yaradır. Yəni, kəsilən pəstahın qalınlığından asılı olaraq abraziv dənələrinin kəsilən səthə zərbəli təsiri fərqli olduğu üçün yarana bilən bərklik də emal olunmuş səth paylanması fərqli olacaqdır.

İlk olaraq HARDOX-500 markalı poladdan hazırlanan pəstahın hidroabrazivlə kəsilməyən səthi K60 pardağ kağızı vasitəsilə rəngdən təmizlənərək 6 müxtəlif nöqtə-



Şəkil 3.4.3 Proqram təminatı ilə təchiz olunmuş bərkliyi ölçən HECKERT modeli cihazın ümumi görünüşü [64, s.19]

də, sonra isə həmin səthi K120 pardaq dairəsi vasitəsilə PHOENIX 4000 pardaq dəzgahında su ilə soyutmaqla pardaqlayaraq 6 müxtəlif nöqtədə onun bərkliyi ölçülür. Daha sonra pəstahın hidroabrazivlə kəsilmiş səthinin bərkliyi 6 müxtəlif nöqtədə və hidroabrazivlə kəsilmiş səthi K120 pardaq dairəsi ilə PHOENIX 4000 pardaq dəzgahında su ilə soyutmaqla pardaqladıqdan sonra yenidən 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyi HV60 (Vickers) üzrə HECKERT cihazı vasitəsilə ölçülür [4, s.441], [64, s.18].

Pardaqlama emalı abraziv dairəsinin 35 m/s sürətində, uzununa veriş hərəkətinin 0,5 m/dəq sürətinidə və kəsmə dərinliyinin qiymətini $t=0,005$ mm götürməklə yerinə yetirilmişdir..

3.4.3. Abraziv dənələrinin həndəsi forma ölçülərinin tədqiqi metodikası və cihazlar

Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı poladlardan detal istehsalında səthın keyfiyyət parametrlərinə təsir edən amillərdən biri su şırnağına qarışdırılan abraziv dənələrinin forma və xətti ölçüləridir. Bu səbəbdən su şırnağına qarışdırılan abraziv dənələrinin forma və ölçülərinin tədqiqatı aparılan əməliyyat üçün aktual problemlərdən biridir [143, s.1]. Abraziv dənələrinin forma və ölçülərini öyrənmək üçün iki müxtəlif cihazdan istifadə olunmuşdur.

Şəkil 3.4.4-də Nikon SMZ-10 modeli mikroskopun ümumi görünüşü verilmişdir [61, s.56]. Mikroskopun obyektivi 10 dəfə və ona əlavə olunmuş okulyarın böyütmə ölçüsü 4,9 dəfə olduğu üçün abraziv dənələrinin ümumi böyüməsi 49 dəfə alınır.

Abraziv dənələri mikroskopun şüşədən olan stoluna səpib, ayrı-ayrı abrazivləri ayıraraq



Şəkil 3.4.4 Nikon SMZ-10 modeli mikroskopun ümumi görünüşü [61, s.56]

işıq seli ilə alınmış abraziv dənələrinin şəkli ayrı-ayrı olaraq kompüter proqramı ilə onların uzunluğu, eni, dəyirimiliyi və ayrı-ayrı tiyələrin bucaqları təyin olunmuşdur.

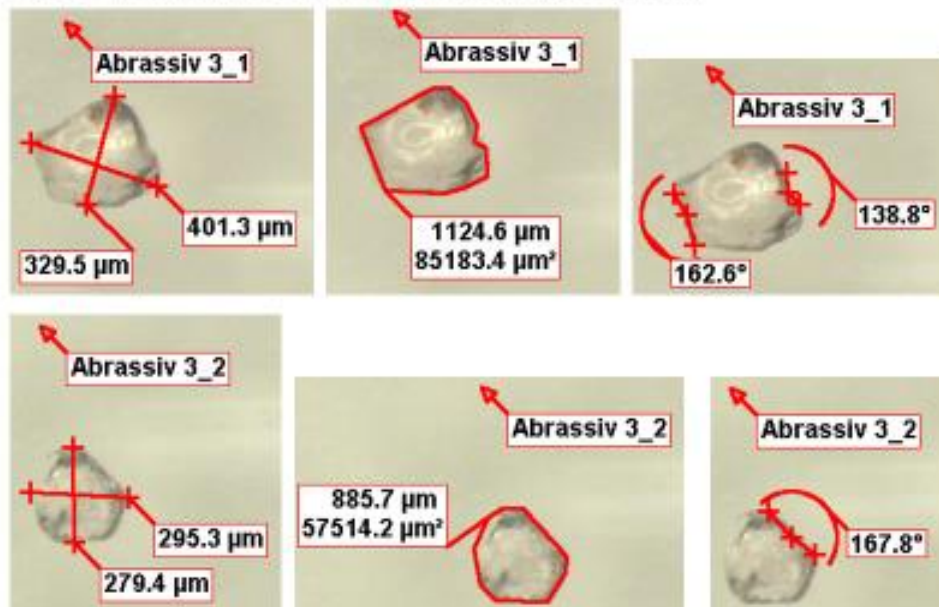
Emaldan əvvəl və sonra ölçmədən alınmış abraziv dənələrinin profillərinin ölçüləri cədvəl 3.4.1 və cədvəl 3.4.2-də, forma və ölçülərinin bir neçə nümunələri isə şəkil 3.4.5 və şəkil 3.4.6- da verilmişdir [61, s.56-57].

Cədvəl 3.4.1

Emaldan əvvəl istifadə olunan abraziv dənələrinin profil ölçüləri

Abraziv dənəsi	Uzunluğu və eni, μm	Perimetri və sahəsi, μm	Bucaq ⁰
Abrassiv 3_1	329,5	1124,6	138,8
	401,3	85183,4	162,6
Abrassiv 3_2	295,3	885,7	167,8
	279,4	57514,2	

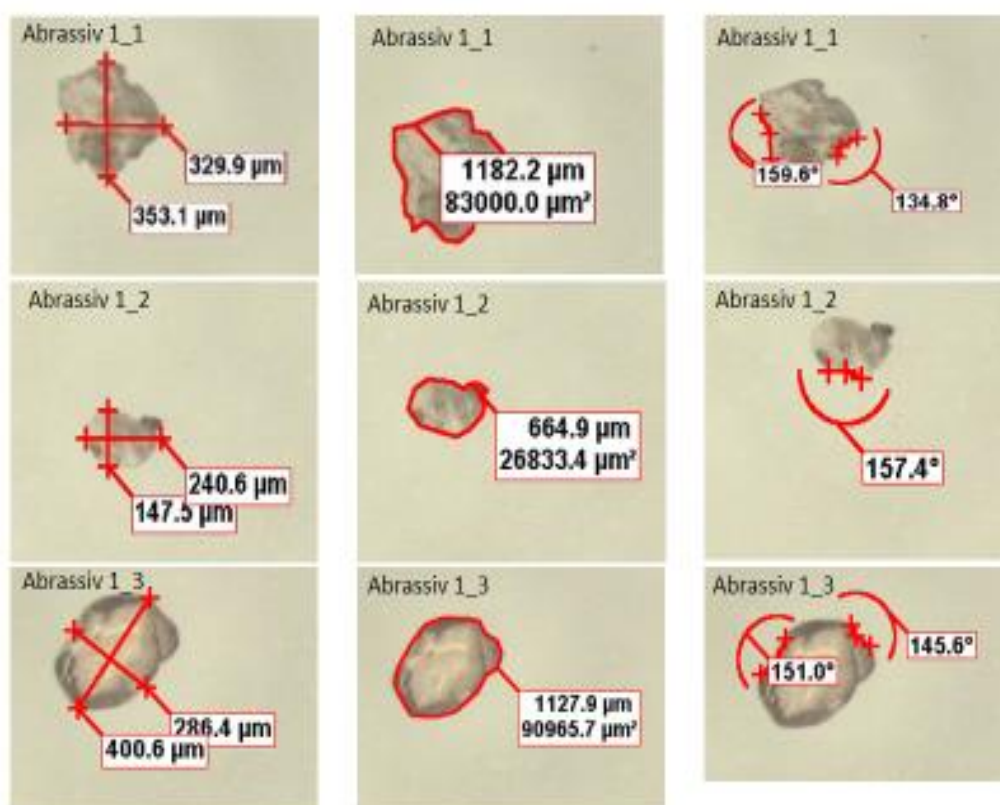
Probe 3 – Abrassiv vor Bearbeitung- Абразив до обработки



Şəkil 3.4.5 Emaldan əvvəl ölçmədən alınmış abraziv dənələrinin forma və ölçülərinin bir neçə nümunələri [61, s.56]

Emaldan sonra istifadə olunan abraziv dənələrinin profil ölçüləri

Abraziv dənəsi	Uzunluğu və eni, μm	Perimetri və sahəsi, μm	Bucaq ⁰
Abrasive 1_1	329,5	1182,2	159,6
	353,1	83000,0	134,8
Abrasive 1_2	240,6	664,9	157,4
	147,5	26833,4	
Abrasive 1_3	400,9	1127,9	151,0
	286,4	90965,4	145,6



Şəkil 3.4.6. Emalda sonra ölçmədən alınmış abraziv dənələrinin forma və ölçülərinin bir neçə nümunələri [61, s.56]

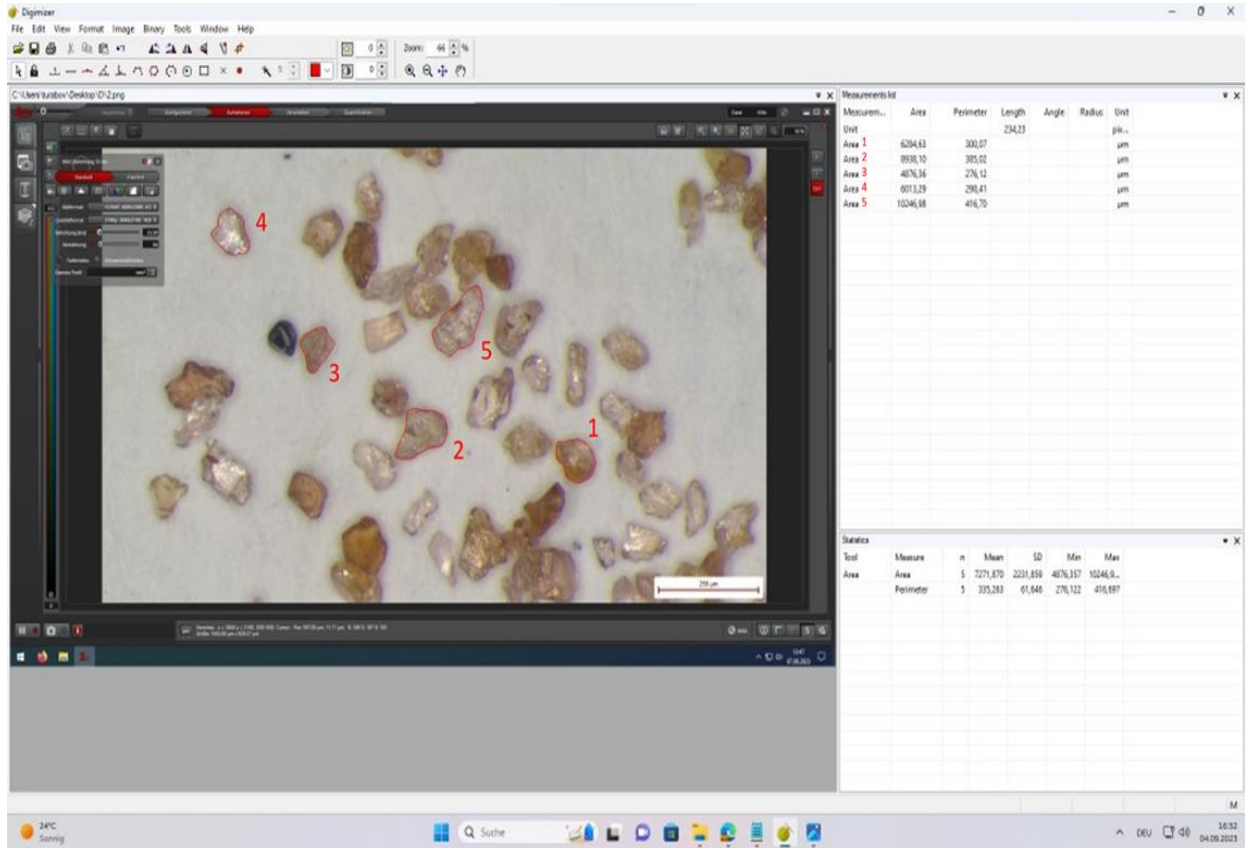
Abraziv dənələrinin forma və ölçülərinin tədqiqində ikinci cihazdan, yəni makroskop Leisa M80 modeli avadanlıqdan istifadə olunmuşdur. Makroskop Leisa M80 cihazının ümumi görünüşü şəkil 3.4.7-də təqdim edilmişdir.

Qranit formalı abraziv dənələrinin makroskopla tədqiqində alınmış təsvirlərin “Digimizer” proqram təminatı ilə ölçülmüş və rəqəmli təsvirlə göstərmək imkanı vardır.

Şəkil 3.4.8-də nümunə olaraq makroskopda emaldan əvvəl ölçülmüş abraziv dənələrinin təsviri verilmişdir.



Şəkil 3.4.7 Leisa M80 modeli makroskop cihazının ümumi görünüşü

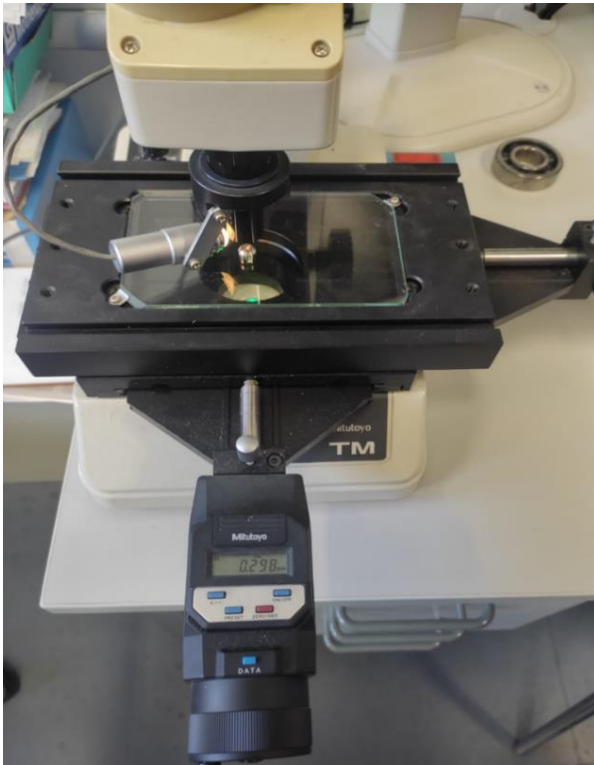


Şəkil 3.4.8 Makroskopda emaldan əvvəl qranit materialından olan abraziv dənələrinin ölçülməsi

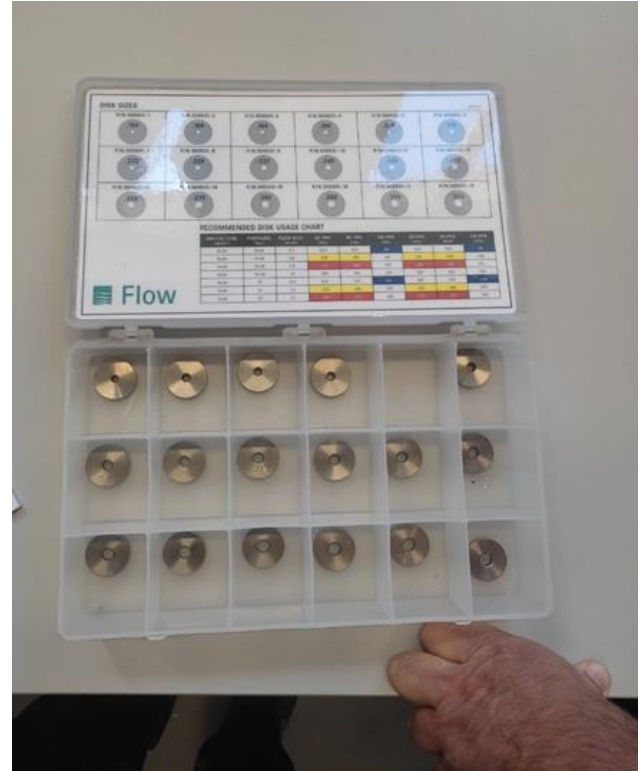
3.4.4. Hidroabraziv emalda tətbiq olunan müştüyün və kəsilmiş detalların ölçülərinin təyin olunması cihazları

Pəstahların hidroabrazivlə doğranmasında su şırnağı abrazivlə birlikdə müştük-dən keçərək kəsmə zonasına verilir [9, s.43]. Bu halda axan su şırnağının və abrazivin sərfiyyatı qarışığın təzyiqi ilə yanaşı müştüyün daxili diametrindən çox asılıdır. Ona görə də müştüyün daxili diametrini təcrübələr zamanı sabit saxlamaq üçün onu vaxtaşırı ölçürlər. Müştüyün daxili diametrini ölçmək üçün Mitudayo TM cihazından istifadə olunmuşdur və bu cihazın ümumi görünüşü şəkil 3.4.9-da öz əksini tapmışdır.

FLOW-Gut markalı hidroabraziv dəzgahında tətbiq olunan müştüyün ucluqları nömrələnmiş şəkildə xüsusi qablaşdırmada şəkil 3.4.10-da təsvir edilmişdir.



Şəkil 3.4.9. Müştüyün ucluğunu ölçən Mitudayo TM cihazının ümumi görünüşü



Şəkil 3.4.10. FLOW-Gut markalı hidroabraziv dəzgahında tətbiq olunan müştüyün ucluqları nömrələnmiş şəkildə xüsusi qablaşdırmada

2D və 3D skan edilmiş nümunələrdən forma sapmalarının ölçülməsi CAD Geomagic Control sistemi tərəfindən həyata keçirilmişdir: maksimum yuxarı və aşağı sapmaların müəyyən edilməsi ilə hissələrin kəsilmiş səthlərinin hündürlüyü boyunca orta və standart kənarlaşma kimi müxtəlif səviyyələrdə müəyyən edilmişdir (IV fəsil, cədvəl 4.2.2). CAD sistemindən istifadə edərək forma sapmalarının ölçülməsi, su şırnağı vasitəsilə kəsilmiş hissələrin səth ölçüsünün sapmasını dəqiq şəkildə tərtib etməyə imkan verir. Sapmaların ölçülməsi zamanı skan modeli hissənin səthini 792 nöqtədən ölçür [63, s.782], [114, s.1571]. Ölçülmüş nöqtələr şəkil 3.4.11-də göstərilən zolaqlı işıq skaneri ilə skan edilir.

Alınmış ölçmə nəticələri “kuboid” istinad modeli ilə müqayisə edilmişdir. Ölçmə kəsilmiş səthlərin müxtəlif hündürlüklərində aparılmışdır [8, s.148], [63, s.782], [114, s.1571].



a)

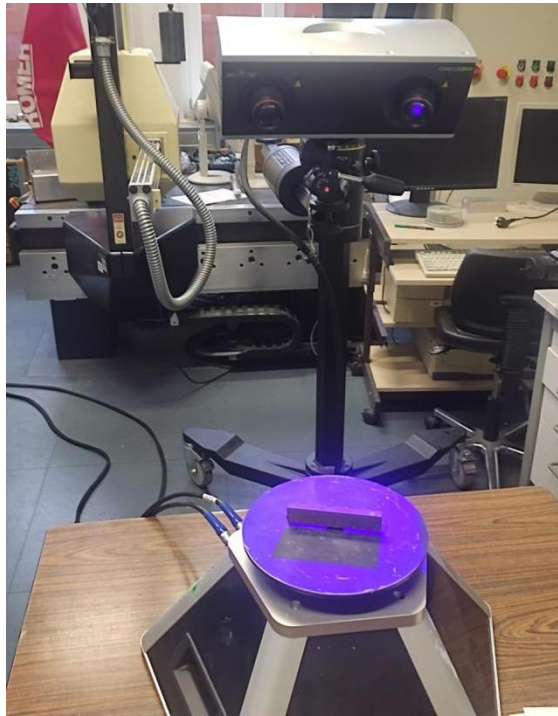


b)

Şəkil 3.4.11 Emal dəqiqliyinin Geomagic Control proqram təminatı ilə Steinbichler skan cihazı vasitəsilə 3D və 2D -də ölçülməsi [63, s.782]

a)- 2D –də ölçmə; b)-3D-də ölçmə.

Geomagic Control proqram təminatı ilə Steinbichler skaner cihazının detalın 3D skanı zamanı ümumi görünüşü şəkil 3.4.12-də verilmişdir.



Şəkil 3.4.12 Geomagic Control program təminatı ilə Steinbichler skaner cihazının detalın 3D skanı zamanı ümumi görünüşü [63, s.782]

Skaner ölçmə cihazının parametrləri cədvəl 3.4.3-də verilmişdir.

Cədvəl 3.4.3.

Skaner ölçmə cihazının parametrləri

Adı	Miqdarı
COMET L3D 5M üçün ölçmə sahəsi	100 mm
Ölçmə həcmi ($x * y * z$)	$120 \times 100 \times 60 \text{ mm}^3$
İş məsafəsi (z)	760 mm
Ölçü nöqtəsi məsafəsi (x, y):	0,050 mm
(yüksək ayırdetmə) ölçmə nöqtəsi	5 milyon
Ölçülər (W * H * D):	$430 \text{ mm} \times 165 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$
Hər baxış üçün qeyd müddəti: (Yüksək Sürət rejimi)	1,5 saniyə
İşıq mənbəyi:	LED

Skanların 2D və ya 3D-də qiymətləndirilməsi Geomagic protokollarında sənədləşdirilir.

3.5. III Fəsil üzrə nəticələr

Qarşıya qoyulmuş tədqiqat işinin ümumi proqramının, hidroabraziv kəsmə üsulunu yerinə yetirmək üçün seçilmiş dəzgah və digər qurğuların, tədqiq olunan texnoloji amillərin araşdırılması və digər problemlərin həlli üçün alınan nəticələr aşağıdakılardan ibarətdir.

1. HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladlardan müxtəlif qalınlıqlı pəstahların hidroabraziv üsulla kəsilməsi tədqiqatları FLOW-Gut modeli hidroabraziv RPİ dəzgahında yerinə yetirilmişdir.

2. Hidroabraziv kəsmədə eksperimentlər kəsmə rejimi parametrlərinin, yəni giriş parametrlərinin (S_{uz} , P_q , Q və s) kəsilən səthdə kələ-kötürlüyün R_a və R_z , emal dəqiqliyinin hədlərinin, səthdə rejim parametrlərindən asılı olaraq bərkliyin formalaşmasının araşdırılması riyazi olaraq çox faktorlu, yəni 2^3 tipində matrisaların planlaşdırılması ilə aparılmışdır.

3. Təcrübələrin çox faktorlu planlaşdırılması nəticəsində alınmış riyazi ifadələrin orta kvadratik meyillənməsi, Koxren kriteriyasına əsasən alınmış təcrübi nəticələrin ümumiləşdirilmiş riyazi ifadəsinin işlənilməsi və bunların əsasında hesabatlar aparılmışdır.

4. Kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyü və R_z maksimal hündürlüyünün kəsmədən sonra ölçülməsi və tədqiqatı proqram təminatı ilə idarə olunan “JENOPTİK” ölçmə cihazında aparılmış və nəticələr avtomatik olaraq qrafiki və mütləq qiymətlər şəklində əldə olunmuşdur.

5. Hidroabraziv kəsmə ilə pəstahın səthində formalaşan bərkliklər müxtəlif rejimlərdə tədqiq olunmaqla onun ölçülməsi proqram təminatı ilə təchiz olunmuş müasir bərkliyi ölçən “HECKERT” modeli cihazda yerinə yetirilmişdir..

6. Hidroabraziv emalda su şırnağına qarışdırılan abraziv dənələrinin forma və ölçüsünün seçilməsi müasir, proqressiv konsruksiyalı, proqram təminatı ilə təmin olunmuş “Nikon SMZ-10” modeli mikroskopla aparılmışdır.

7. Ümumi halda hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı poladın kəsilməsi tədqiqatları müasir dəzgah və avadanlıqlarda yerinə yetirilmişdir.

FƏSİL 4. ÇƏTİN EMAL OLUNAN HARDOX-500 MARKALI XROM-NİKELLİ POLADIN HİDROABRAZİVLƏ EMALININ TƏDQIQI

Aparılmış nəzəri tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabraziv kəsmə üsulundan istifadə edərək xrom-nikelli çətin emal edilən materiallardan maşın hissələrinin istehsalında keyfiyyət parametrlərinin formalaşmasının izahının nəzəri həlli kifayət qədər mürəkkəbdir. Ona görə də çıxış parametrlərinin eksperimental tədqiqatlarla öyrənilməsi və nəzəri tədqiqatlarla alınmış nəticələrin qarşılıqlı əlaqələrinin sintezi ilə həll olunması hidroabraziv kəsmənin optimal texnoloji rejim parametrlərinin təyin olunmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edəcəkdir. Eksperimental tədqiqatlarda keyfiyyət parametrlərindən səthin kələ-kötürlüyü R_a , R_z , mkm, ölçü dəqiqliyi Δ , mkm, emal olunan səthin bərkliyi H , (MPa), emal vaxtı t , san, emal məhsuldarlığı və s. amillərin araşdırılmasına baxılır.

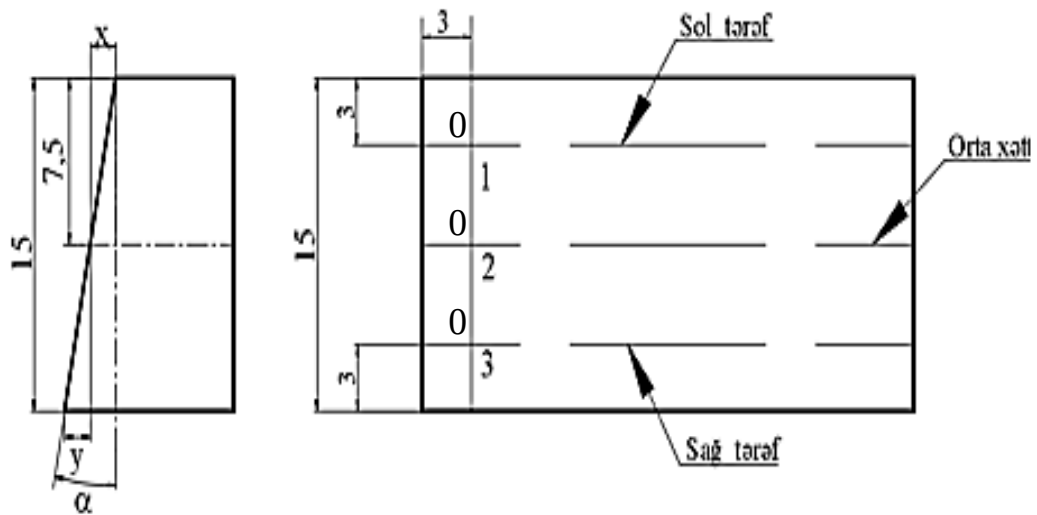
4.1. HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli materialın hidroabrazivlə kəsilməsində formalaşan kələ-kötürlüyün texnoloji parametrlərdən asılılığı

Hidroabraziv emalda xrom-nikelli poladların kəsilmə səthində kələ-kötürlüyün formalaşması texnoloji əməliyyatın fiziki mahiyyətindən, yəni yonqarəmələgəlmə prosesinin yaratdığı plastiki deformasiyalardan, yonqar elementlərinin kəsən dənələrinin və emal olunan materialın fiziki-mexaniki xassələrində çox asılıdır [6, s.17], [108, s.45-56], [90, s.1045-1048], [10, s.17-19], [118, s.139-142], [120, s.18]. Eləcə də, hidroabraziv emalda kələ-kötürlük kəsmə rejimlərindən, yəni su-abraziv şırnağının təzyiqindən, abraziv dənələrin həcmindən, qarışıqın kəsmə zonasına verilmə sürətindən, müştüyün və yaxud pəstahın uzununa veriş hərəkətinin dəyişmə sürətindən, kəsilmə pəstahın qalınlığından və s. amillərdən asılıdır. Bu baxımdan eksperimental tədqiqatların aparılması üçün tərtib olunmuş metodikaya əsasən FLOW-Gut modelli proqramla idarə olunan hidroabraziv emal dəzgahında təcrübələr aparılmışdır [62, s.60-64], [113, s.2590].

Eksperimental tədqiqatlar çox faktorlu riyazi planlaşdırma üsulundan istifadə edilərək öyrənilmişdir. İlk olaraq tədqiqatlar kəsilən pəstahın qalınlığı 15, 20, 30 mm olan nümunələrdə yoxlanılmışdır [58, s.77], [111, s.26].

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, kəsilən pəstahın qalınlığından asılı olaraq hidroabraziv kəsmədə emal olunmuş səthin kələ-kötürlüyü fərqli qiymətlərdə alınır. Hidroabraziv emalda 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 [110, s.59-62], [112, s.179-182].

HARDOX-500 markalı polad təbəqədən qalınlığı 15 mm, uzunluğu 30 mm və eni 20 mm olan pəstahın hidroabraziv üsulunda müxtəlif rejimlərdə kəsilməsindən alınmış R_a və R_z paylanması və həndəsi ölçüləri su şırnağının sərfiyyatı 3,47 l/dəq, suyun təzyiqi 3500 bar və suya qarışdırılmış abraziv dənəsinin sərfiyyatını 230qr/dəq seçməklə tədqiqatlar aparılmışdır [8, s.147-148]. Eləcə də müştüyün uzununa veriş hərəkətini $S_{uz}=26,7; 53,4; 77,4$ və $91mm/dəq$ götürməklə doqrama əməliyyatı aparılmışdır. Müxtəlif veriş sürətlərində kəsilmiş pəstahın səthinin kələ-kötürlüklərinin ölçülməsi koordinatları şəkil 4.1.1-də verilmişdir [111, s.26].



Şəkil. 4.1.1 Müxtəlif veriş sürətlərində kəsilmiş pəstahın səthinin kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin ölçülmə koordinatları

Bu zaman pəstahın kəsilmiş səthində yuxarıdan (sol tərəf) 3mm, aşağıdan (sağ tərəf) 3mm və orta xətt üzrə alınan kələ-kötürlük və dalğavariliyin paylanması

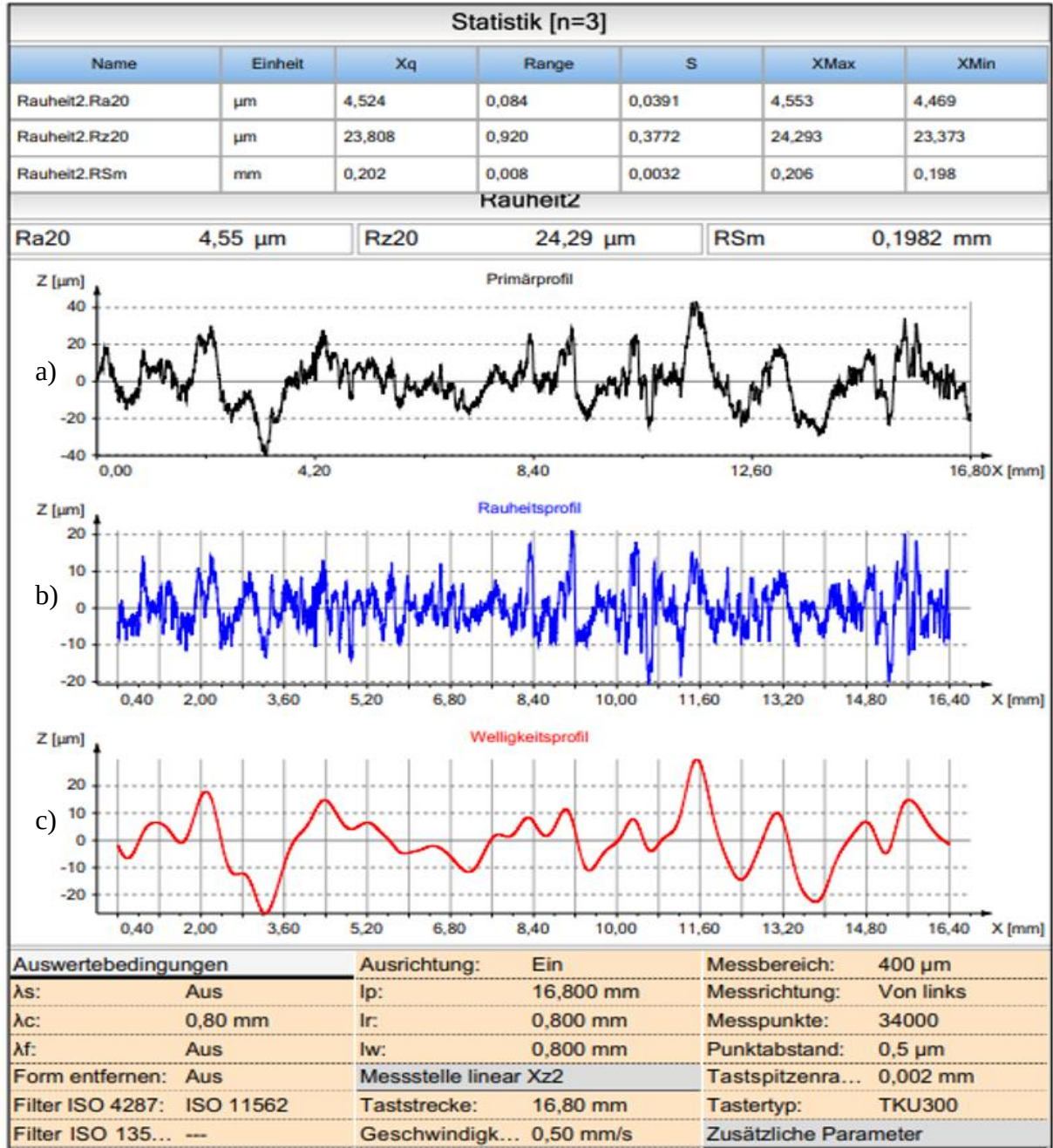
öyrənilmişdir. Kələ-kötürlüyün həndəsi parametrləri və dalğavariliyi şəkil 4.1.1-də verilmiş 1, 2 və 3 nöqtələrindən başlayaraq (0 nöqtəsi) 4,20; 8,40; 12,60 və 16,80 mm uzunluğunda paylanması üçün “JENOPTİK” cihazında tədqiq edilmişdir.

Alınmış nəticələr avtomatik hesablamalar və proqram təminatı ilə müvafiq qrafiki materiallarda verilir. Metodikaya əsasən hidroabrazivlə kəsilmiş səthin müxtəlif hündürlüklərində tədqiq olunmuş kələ-kötürlük və dalğavariliyin qiymətlərinə əsasən kəsmədə tətbiq edilən abraziv dənələrinin həndəsi formasını, kəsmə rejimlərinin və bir sıra texnoloji amillərin qarşılıqlı təsirinin geniş öyrənilməsinə imkan yaradır [117, s.175-177]. Yəni, çıxış parametri kimi kələ-kötürlüyü və dalğavariliyi götürməklə texnoloji amillərin qiymətlərinin proqnozlaşdırılmasını aparmaq olar. Aparılmış tədqiqatlardan kələ-kötürlüyün və dalğavariliyin uzununa verisdən aslı olaraq dəyişməsinin bəzi nəticələri əldə edilir.

Hidroabrazivlə xrom-nikelli poladın kəsilməsində səthin kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin öyrənilməsinin əsas məqsədlərindən biri də belə pəstahlardan hazırlanacaq detalların ilkin mexaniki emal texnologiyasının seçilmə ardıcılığının səmərəli həll olunmasına istiqamətlənmişdir. Yəni, hidroabrazivlə kəsilmiş HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsilən qalınlıq üzrə abraziv dənələrinin su şırnağı ilə pəstahın səthinə istiqamətlənməsi ilə yonqarəmələgəlmə prosesinin düzgün idarə olunmasını müəyyənləşdirmək üçün kəsilmiş səthdə kələ-kötürlüyün və forma xətalalarının topoqrafiyasını müəyyən etməklə alınan xətaları və həndəsi amilləri qiymətləndirmək olar [112, s.180-182]. Şəkil 4.1.2-də qalınlığı 15 mm olan HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə kəsilmiş səthi şəkil 4.1.1-də verilmiş sxemə əsasən, emal səthindən 3 mm aşağı məsafədə, yəni sol kəsikdə formalaşan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünün (şəkil 4.1.2 a), R_z kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyünün (şəkil 4.1.2 b), eləcə də S_m həmin səthdə yaranan dalğavariliyin (şəkil 4.1.2 c) paylanmasının qrafiki verilmişdir.

Alınmış nəticələrin qiymətləri “JENOPTİK” cihazının istismar proqramına uyğun olaraq statik ölçmələrin ($n=3$) cəmi əsasında alınmış amillərə görə qurulmuşdur. Kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün topoqrafiyası göstərir ki, ölçmənin ilkin anında qalıq səthin hündürlüyü 20 mkm-ə qədər yüksəlir, ölçmənin 4,20 mm uzunluğuna

Kunde Samir Amirli	Werkstück Werkstuck 26.7 links 1	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg
Auftrag	Zeichnungsnummer	
Prüfer Wichmann	Seriennummer	JENOPTIK
Bemerkung		



Şəkil 4.1.2 Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahın səthinin sol tərəfdən kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin JENOPTİK cihazı vasitəsilə ölçülməsinin nəticələri

a-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c-səthdə yaranan dalğavarilik

qədər cəmi 3 nöqtədə (şəkil 4.1.2 a, 1;2;3) kələ-kötürlüyün hündür izləri müşahidə edilir. Kələ-kötürlük 4,20 mm-dən 8,40 mm-ə qədər uzunluqda olan sahədə orta hesabla $6 \div 8$ mkm arasında dəyişir. Sonrakı ölçmələr onu göstərmişdir ki, kələ-kötürlüyün ən yüksək qiyməti qrafikdən göründüyü kimi 42 mkm (şəkil 4.1.2. a.) ölçmə səthinin 10,4 mm-nə təsadüf edir. Kələ-kötürlüyün R_z maksimum hündürlüyünün yazılmış topoqrafiyası onu göstərir ki, statik hesablamalardan R_z -in orta hündürlüyü $R_z=24,29$ mkm alınır, kələ-kötürlüklər arası orta addım $S_m=0,1982$ mm-dir. Şəkil 4.1.2 b-də kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünün hesablama topoqrafiyası göstərilmişdir.

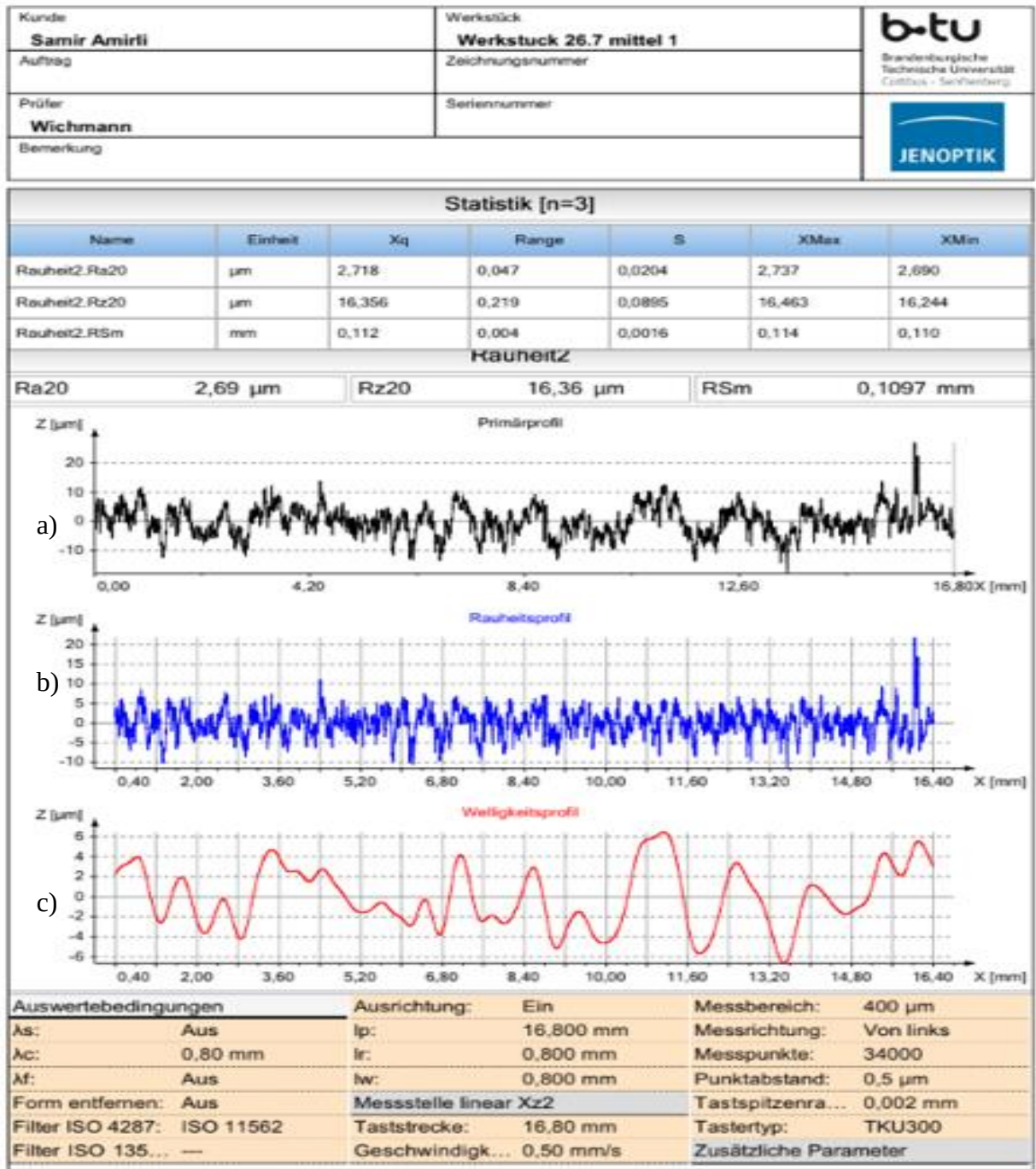
Statik hesablamalar göstərmişdir ki, R_a -nın 16,4 mm baza xətti üzrə maksimum hündürlüyü $R_a=4,55$ mkm, kələ-kötürlüklərin orta addımı $S_m=0,1982$ mm olmuşdur.

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsilmiş səthdə dalğavariliyin (şəkil 4.1.2 c) hündürlüyü 30 mkm (11,6 mm-lik nöqtədə) - 25 mkm (3,6 mm-lik nöqtədə) arasında dəyişir. Ölçmələr göstərmişdir ki, 16,40 mm məsafədə orta hesabla dalğavarilik 0-0 xəttindən 1, 2, 3, 4 və 5 nöqtələrində maksimum qiymətlər alır. Ən hündür dalğavarilik 30 mkm-ə (şəkil 4.2.1 c.) çatır.

Qeyd etdiyimiz kimi, xrom-nikelli polad pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində kəsilmiş səthin orta xətti qalınlığında kələ-kötürlüyün və dalğavariliyin paylanması topoqrafiyası kəsiyin ilkin anına nisbətən xeyli fərqlənir. Bu onunla izah olunur ki, abraziv dənələri pəstahı kəsdikcə yonqarəmələgəlmə şəraiti qalın qatlarda dəyişir. Ona görə də, abraziv dənələrinin çıxartdığı yonqarların həm həcmi, həm də formaca kəsmənin ilkin anından fərqli olur. Bu səbəbdən də kəsilmiş səthin müxtəlif hündürlüklərində həm kələ-kötürlük, həm də dalğavarilik fərqli olacaqdır.

Şəkil 4.1.3-də kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünü, R_z onun maksimum hündürlüyünün və S_m dalğavariliyi kəsilmiş pəstahın orta oxu üzərində paylanmasının topoqrafiyası verilmişdir.

Hesablamalar göstərmişdir ki, pəstahın qalınlığı üzrə kəsiyin orta səthində kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü $R_a= 2,69$ mkm, onların orta addımı $S_m=0,1097$ mm, kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü $R_z=16,36$ mkm olur. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, pəstahın qalınlığı üzrə kəsilmiş səthlərin dərin qatlarında kələ-kötürlüyün



Şəkil 4.1.3 Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahın səthinin mərkəzdən kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin JENOPTİK cihazı vasitəsilə ölçülməsinin nəticələri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-səthdə yaranan dalğavarilik

həm orta hündürlüyü, həm də maksimum hündürlüyü kəsmənin ilkin anlarında alınmış qiymətlərdən 1,5÷2 dəfə az alınır. Eyni zamanda, dalğavariliyin ölçülməsi nəticəsində

alınan topoqrafik əyrilər (şəkil 4.1.3 c) göstərir ki, bu amil də xeyli aşağı qiymətlərdə alınır. Yəni, kəsiyin səthinin orta qatlarında dalğavarilik -4,6 mkm-lə 6 mkm arasında dəyişir. Buna baxmayaraq, S_m dalğavariliyin addımı xeyli kiçilməklə yanaşı onların sayı çoxalır ki, bu da hidroabraziv kəsmə prosesinin yonqarəmələgəlmə sxemi ilə izah edilir. Yəni kəsiyin dərinliyi artdıqca emal səthinə təsir edən abraziv dənələrin sayı çoxalır ki, bunun nəticəsində yonqarəmələgəlmə mexanizmi xeyli fərqlənmiş olur.

Maraqlı məsələlərdən biri hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsində pəstahın en kəsiyinin alt hissəsində, yəni şəkil 4.1.1-də verilmiş sağ xətt üzrə kələ-kötürlüyün və dalğavariliyin formalaşmasıdır. Hidroabrazivlə kəsmə prosesində əməliyyatın sonunda kontakt zonasında abraziv dənələrinin toplanma ehtimalı yüksək olduğu üçün bu halda yaranan səthin forma xətalı da onun digər sahələrindən fərqli olacaqdır.

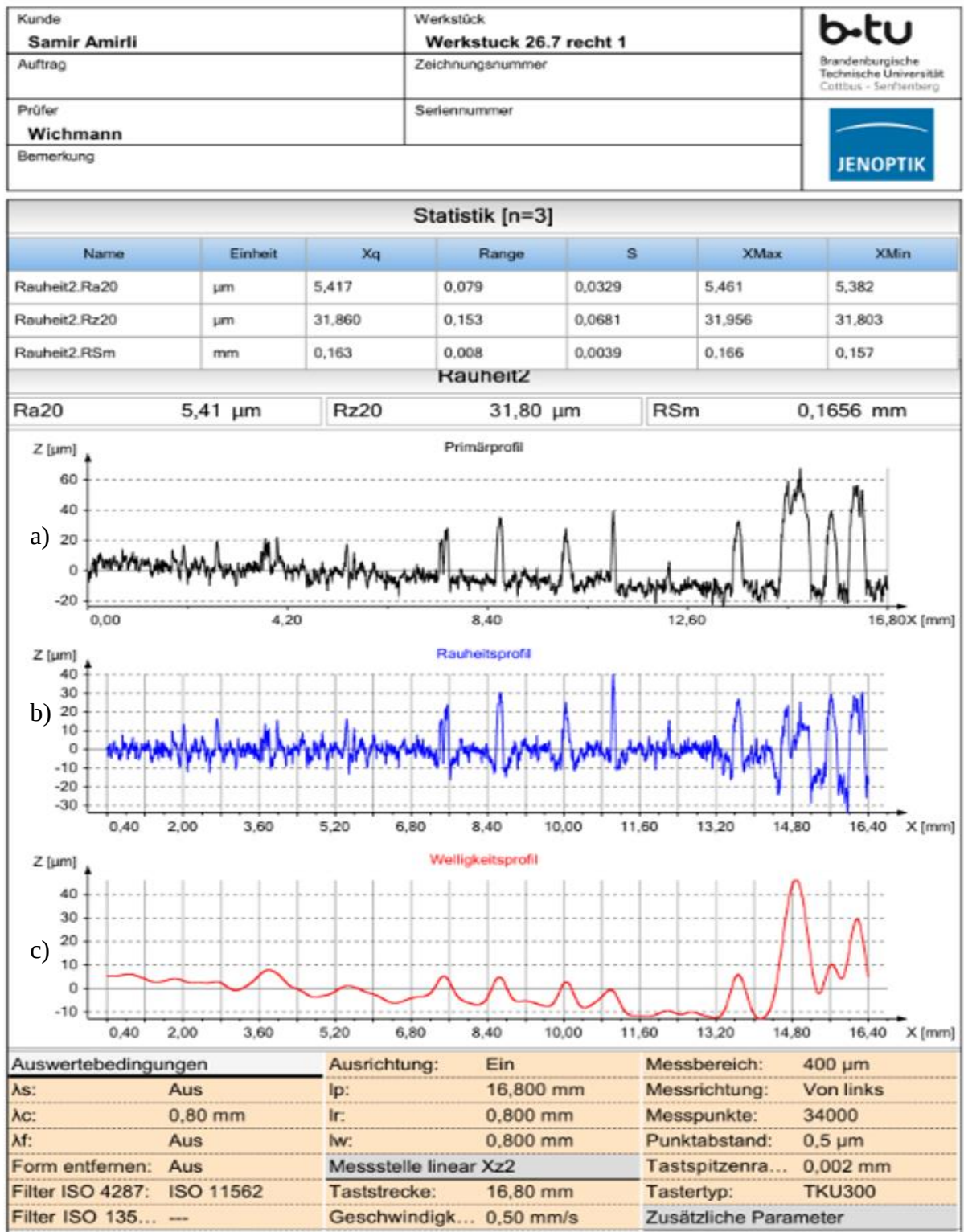
Aparılmış təcrübələrdən alınan nəticələr, yəni kəsilmiş səthdə sağ tərəfdə (şəkil 4.1.1-ə görə) yaranan forma xətalının bəzi amilləri şəkil 4.1.4 a), b) və c)-də verilmişdir.

Statistik hesablamalardan məlum olmuşdur ki, verilmiş kəsmə rejimləri daxilində kəsilmiş pəstahın sağ tərəfi üzrə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü $R_a = 5,41$ mkm, onların orta addımı $S_m = 0,0329$ mm, kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü $R_z = 31,80$ mkm, onların orta addımı $S = 0,0681$ mm olmuşdur. Dalğavarilik (şəkil 4.1.4 c) digər kəsiklərə nisbətən, əsasən -5 mkm-lə 6 mkm arasında dəyişmiş və profilinə görə daha səmərəli xarakter almışdır.

Beləliklə, aparılmış tədqiqatlar nəticəsində hidroabraziv üsulu ilə qalınlığı 15 mm olan xrom-nikelli polad NARDOX-500 pəstahların kəsilməsi nəticəsində, kəsiyin kələ-kötürlük və dalğavarililiyinin paylanması aşağıda verilmiş nəticələrin əldə olunmasına imkan yaradır.

Hidroabraziv emalda kələ-kötürlüyün formalaşmasının $S_{uz} = 53,4 \text{ mm/dəq}$ rejimlərində alınmış nəticələrdə baxılmışdır.

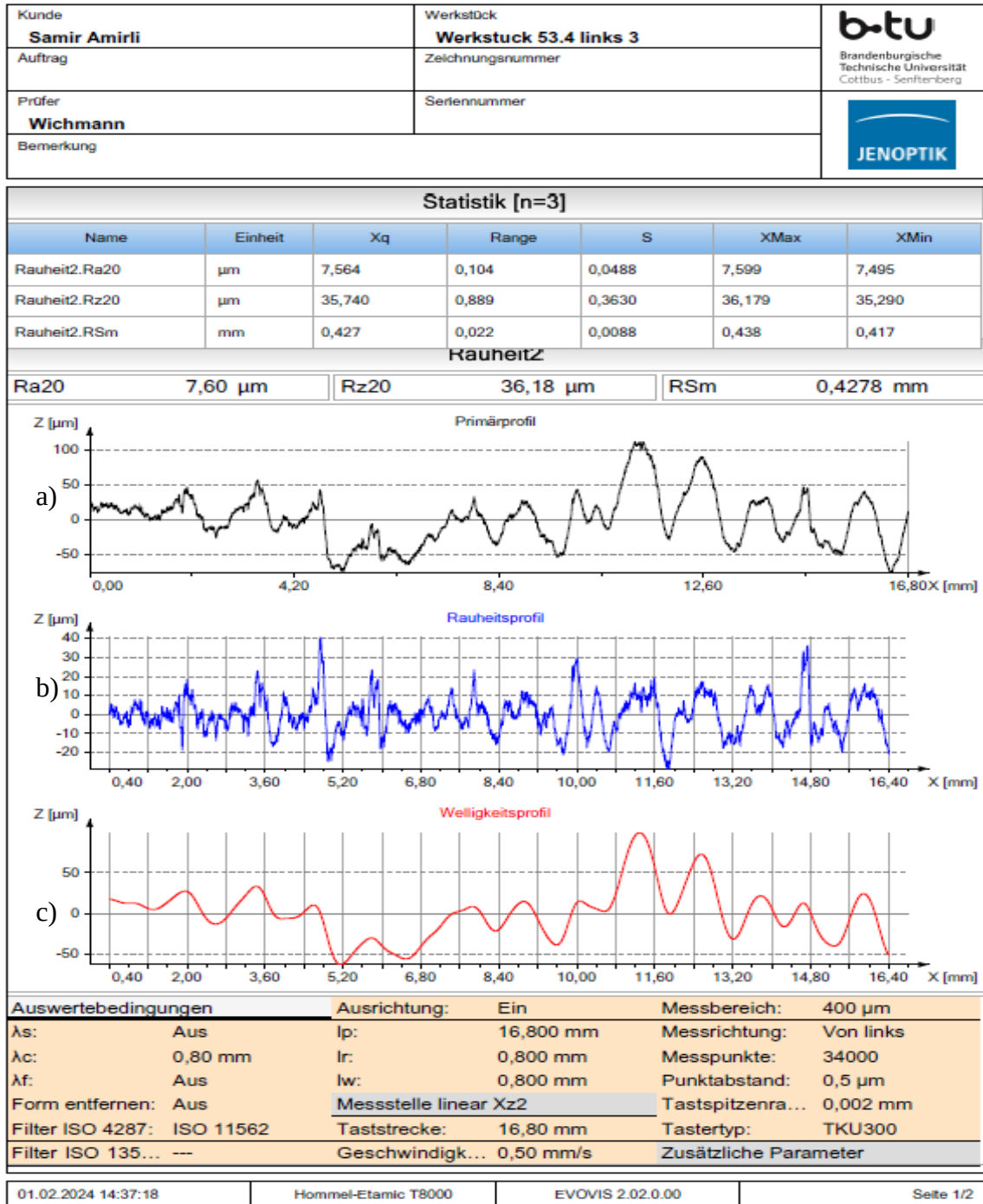
Məlumdur ki, HARDOX-500 poladının kimyəvi tərkibində 0,30 % karbon, 0,70 % silisium, 1,60 % manqan, 1,50 % nikel, 1,50 % xrom, 0,60 % molibden olduğu üçün müştüyün uzununa verişinin dəyişməsi ilə kələ-kötürlüyün səth üzrə yayılma həndəsi forma və ölçüsü dəyişir [133, s.1]. Ona görə də şəkil 4.1.1-də verilmiş ölçmə



Şəkil 4.1.4 Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahın səthinin sağ tərəfdən kələ-kötürlüyünün və dalğavariliyinin JENOPTİK cihazı vasitəsilə ölçülməsinin nəticələri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-səthdə yaranan dalğavarilik

sxeminə görə 15 mm-lik qalınlığında olan pəstahı $S_{uz}=53,4\text{mm}/d_{\text{aq}}$ sürəti ilə kəsmə prosesi aparılmışdır[111, s.26]. Hidroabraziv kəsmədən sonra sol kəsikdə alınan kələ-kötürlüyün forma və ölçüləri şəkil 4.1.5-də verilmişdir.

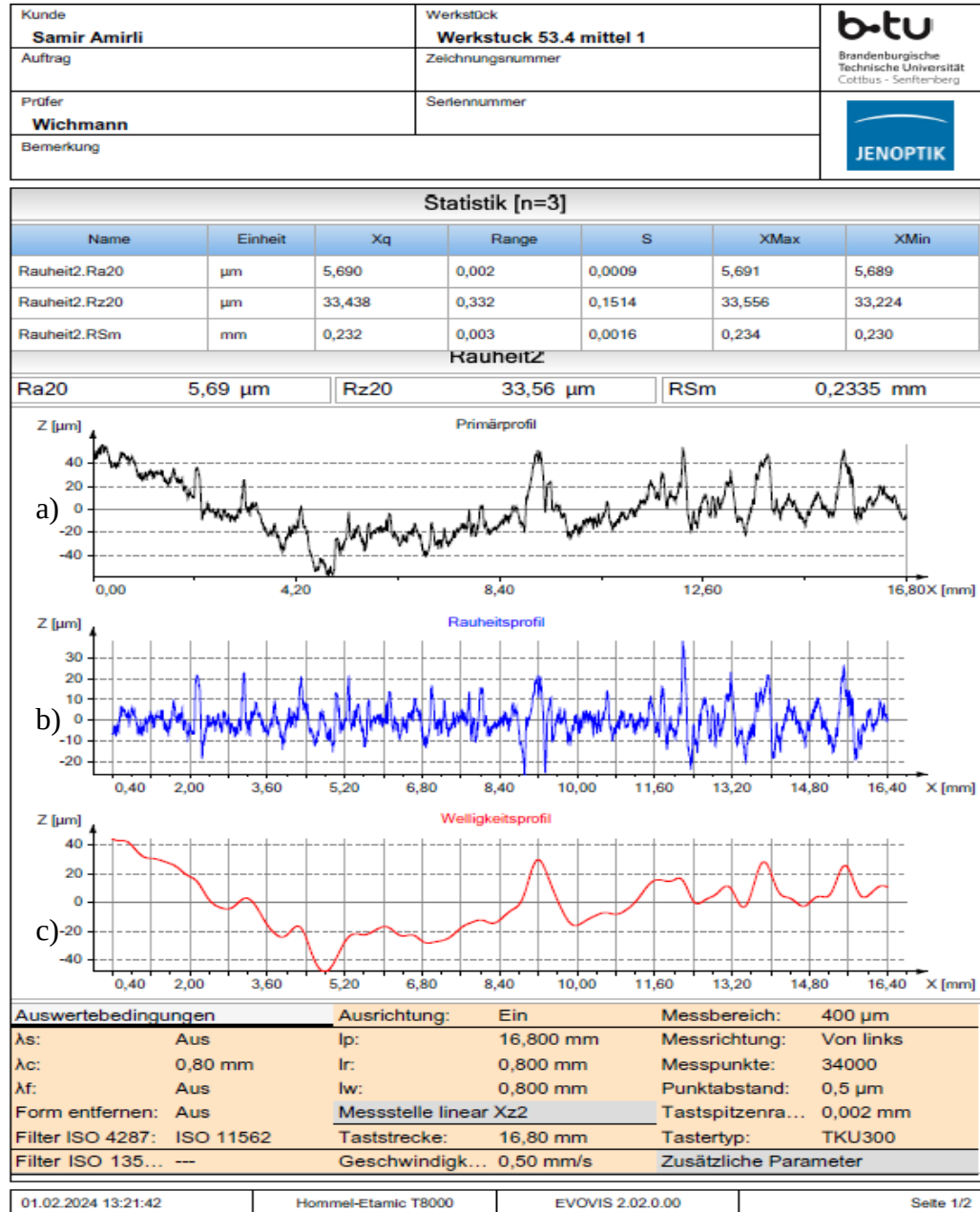


Şəkil 4.1.5 Hidroabraziv kəsmədən sonra sol kəsikdə alınan kələ-kötürlüyün forma və ölçüləri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-
səthdə yaranan dalğavarilik

Ölçmələrdən məlum olur ki, kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü $R_a=7,60$ mkm, kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü $R_z =36,18$ mkm təşkil edir, kələ-kötürlüyün orta addımı $S_m=0,4278$ mm olur və kəsilmiş səthin dalğavariliyi $0\div16,4$ mm məsafədə -55 mkm ilə $+72$ mkm arasında dəyişir.

Şəkil 4.1.6-da kəsilmiş pəstahın (şəkil 4.1.1) orta xətti üzrə ($0\div0$ nöqtələri) aparılmış ölçmələr göstərilmişdir.



Şəkil 4.1.6 Kəsilmiş pəstahın orta xətti üzrə ($0\div0$ nöqtələri) aparılmış ölçmələri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-səthdə yaranan dalğavarilik

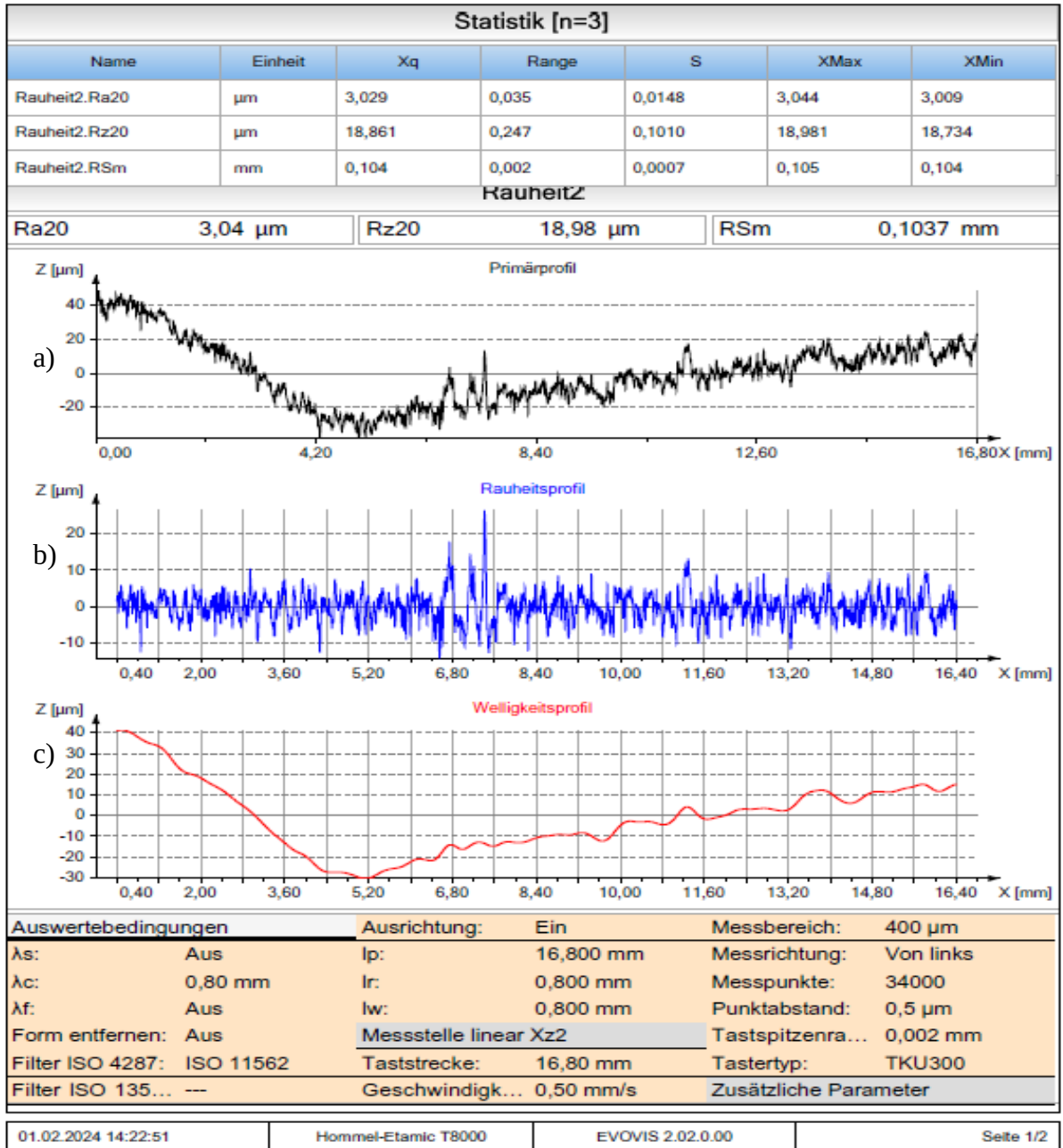
Kələ-kötürlüyün orta səth üzrə R_a qiyməti sol tərəfə nisbətən azalaraq 5,69 mkm, R_z -in qiyməti 33,56 mkm, kələ-kötürlüyün orta addımı isə $S_m=0,4278$ mm olur. Bu onunla izah edilir ki, hidroabraziv kəsmənin başlanğıcında abraziv dənələri emal olunan səthin kəsilməsinin ilk anlarında yonqar çıxarma prosesini mürəkkəb şəraitdə aparır. Pəstahda kəsiyin profili formalaşdıqca, səthə verilən su-abraziv qarışığının kəsmə şəraiti, yəni abraziv dənələrinin yonqarəmələgətməsi sistem halında baş verdiyi üçün kələ-kötürlüklərin qiyməti bir qədər aşağı enir. Ona görə də bu kəsikdə pəstahın dalğavariliyidə azalaraq -40 mkm-lə +40 mkm arasında alınmışdır.

Aparılmış ölçmələrlə kəsmənin $53,4\text{mm}/dəq$ veriş sürətində pəstahın sağ tərəfində formalaşan kələ-kötürlük və dalğavarilik şəkil 4.1.7-də verilmişdir.

Burada $R_a=3,04$ mkm, $R_z=18,98$ mkm, $S_m=0,1037$ mm alınmışdır ki, göstərilən ədədlər sol və orta kəsik üzrə alınmış qiymətlərdən xeyli azdır. Bu da kəsmə şəraitinin yaxşı halda getməsinə və kontakt zonasına verilən abraziv dənələrinin bir istiqamətdə cəmləşməsi hesabına baş verməsi əsasındaır.

Hidroabraziv kəsmədə uzununa verişin dəyişməsi emal məhsuldarlığına və kəsiyin keyfiyyət parametrlərinə təsir göstərir. Bu səbəbdən götürülmüş 15 mm qalınlığında pəstahı $S_{uz}=77,4\text{mm}/dəq$ sürəti ilə kəsməklə sol səthdə yaranan kələ-kötürlük və dalğavarilik şəkil 4.1.8-də verilmişdir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, kəsilmiş pəstahın en kəsiyinin sol hissəsində yaranan kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü $R_a=9,79$ mkm, kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü $R_z=44,30$ mkm, kələ-kötürlüklərin orta addımı $S_m=0,3810$ mm olmuşdur. Araşdırmalar göstərmişdir ki, kəsilmiş səthin uzunluğunun kənarından 10,5 mm-dən başlayaraq 15 mm uzunluğunda -170 mkm-dən + 200 mkm qədər çökəklik yaranır. Çökəklik boyunca kələ-kötürlüyün kəsilmə səth üzrə profil dalğavariliyi əks etdirilir. Şəkil 4.1.8. c-də kəsilmiş səthin dalğavariliyi göstərilmişdir. Məlum olmuşdur ki, (şəkil 4.1.8.b) pəstahın $77,4\text{mm}/dəq$ kəsmə sürətində kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyün paylanması stabil formaya malikdir, yəni yonqar əmələgəlmə prosesi bərabər kəsmə şəraitində getməsi hesabına kələ-kötürlüyün paylanması sabitdir.

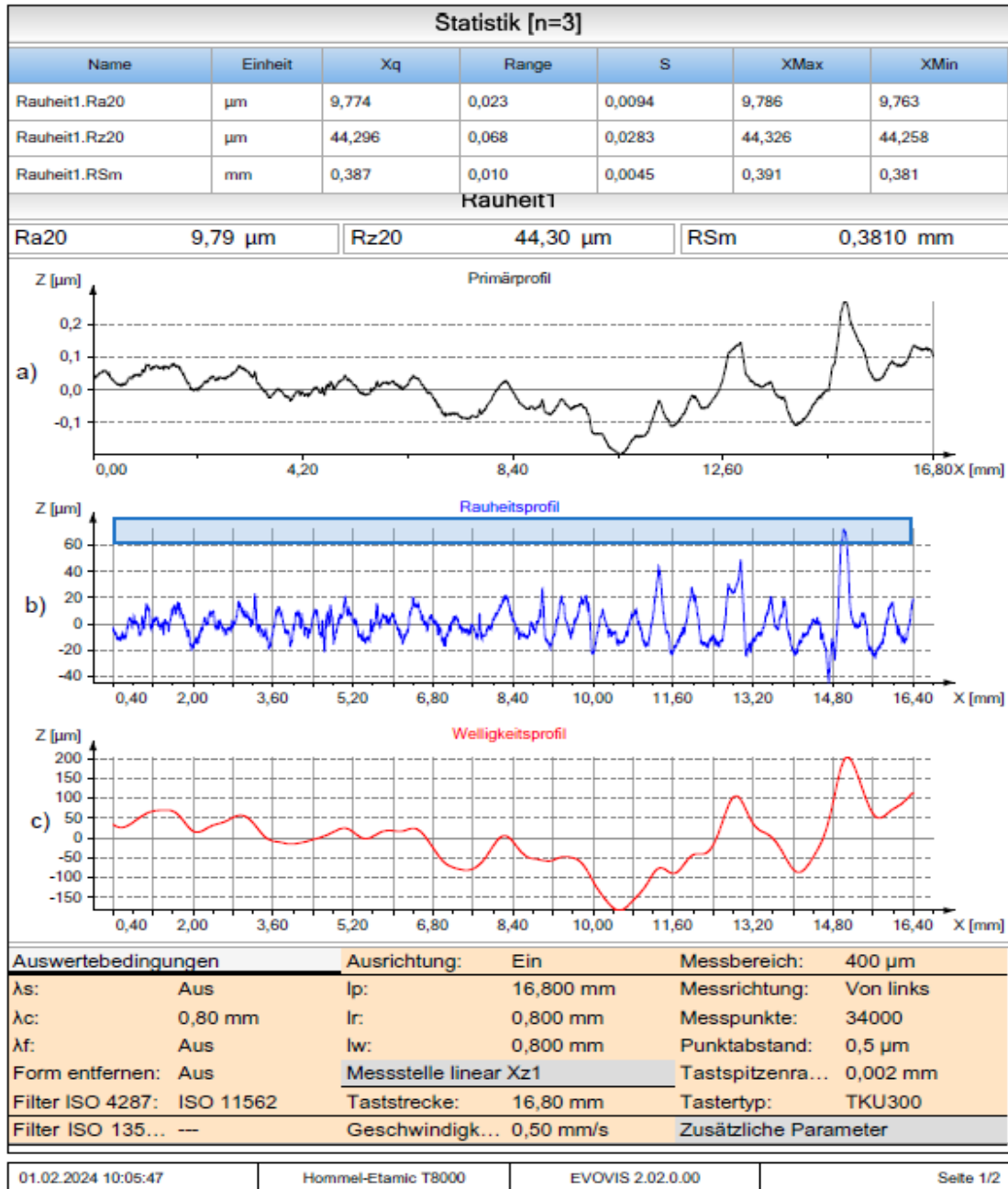
Kunde Samir Amirli	Werkstück Werkstück 53.4 rechts 3	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg
Auftrag	Zeichnungsnummer	
Prüfer Wichmann	Seriennummer	
Bemerkung		



Şək.4.1.7 Kəsmənin veriş sürətində pəstahın sağ tərəfində formalaşan kələ-kötürlük və dalğavarilik

- a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü,
c)-səthdə yaranan dalğavarilik

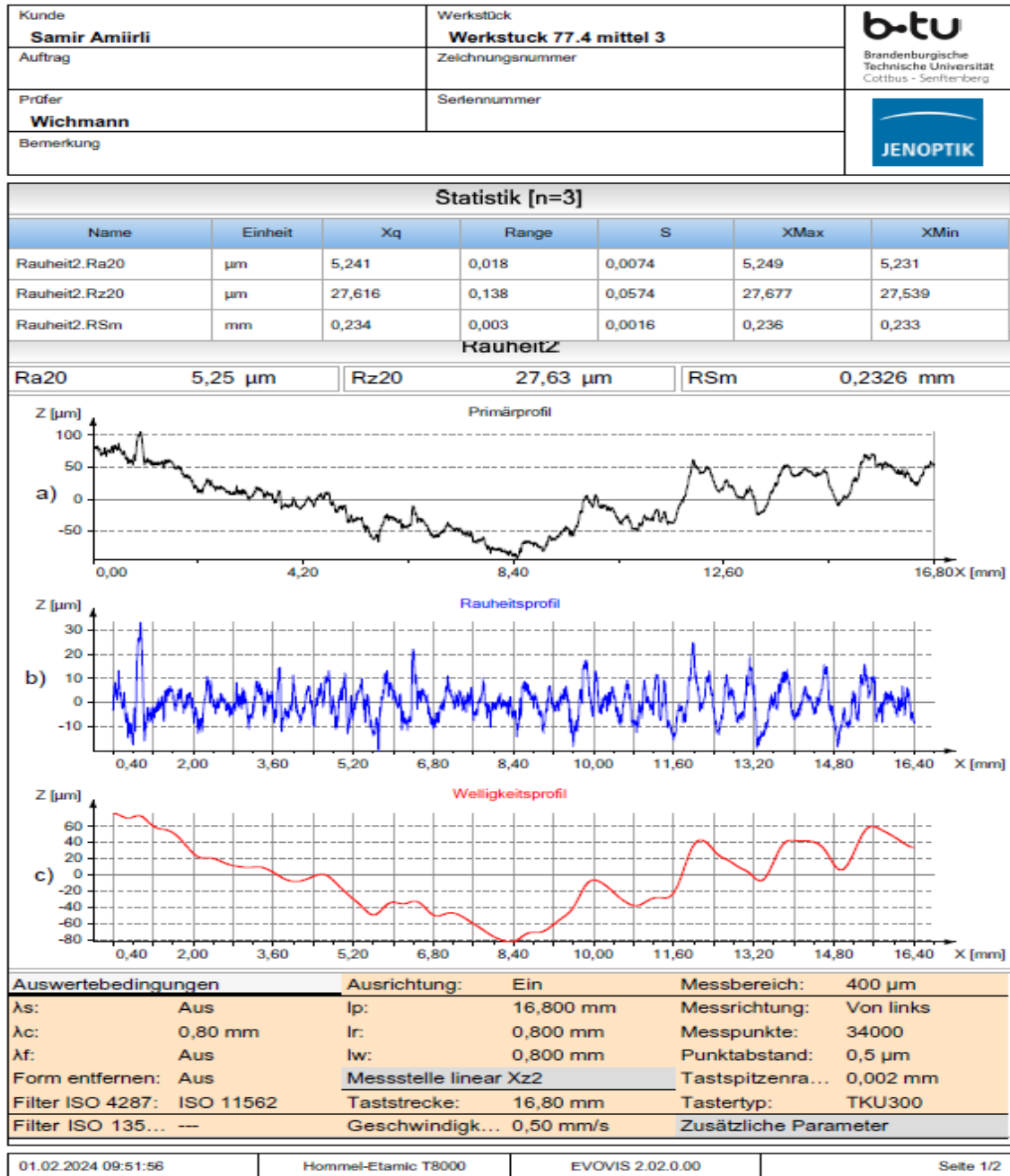
Kunde Samir Amirli	Werkstück Werkstück 77.4 links 3	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg JENOPTIK
Auftrag	Zeichnungsnummer	
Prüfer Wichmann	Seriennummer	
Bemerkung		



Şəkil.4.1.8 Kəsmənin $S_{uz} = 77,4 \text{ mm}/d \cdot q$ veriş sürətində pəstahın sol tərəfində formalaşan kələ-kötürlüklər və dalğavariliyin qrafiki

- a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-səthdə yaranan dalğavarilik

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, $S_{uz}=77,4 \text{ mm/dəq}$ verişlə kəsilmiş pəstahın orta kəsik üzrə kələ-kötürlük və dalğavarilik profiloqraması sol kəsik üzrə alınmış nəticələrdən xeyli fərqlənir [63, s.782]. Orta kəsik üzrə alınmış profiloqramlar şəkil 4.1.9-da verilmişdir.



Şəkil.4.1.9 Kəsmənin $S_{uz} = 77,4 \text{ mm/dəq}$ veriş sürətində pəstahın orta kəsik üzrə formalaşan kələ-kötürlüyü və dalğavariliyi göstəriciləri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-
səthdə yaranan dalğavarilik

Bu halda alınmış nəticələr, yəni $R_a=5,25$ mkm, $R_z=27,63$ mkm, $S_m=0,2326$ mm olmuşdur. Dalğavariliyin (şəkil 4.1.9 c) ölçüləri -80 mkm-lə +70 mkm arasında dəyişir.

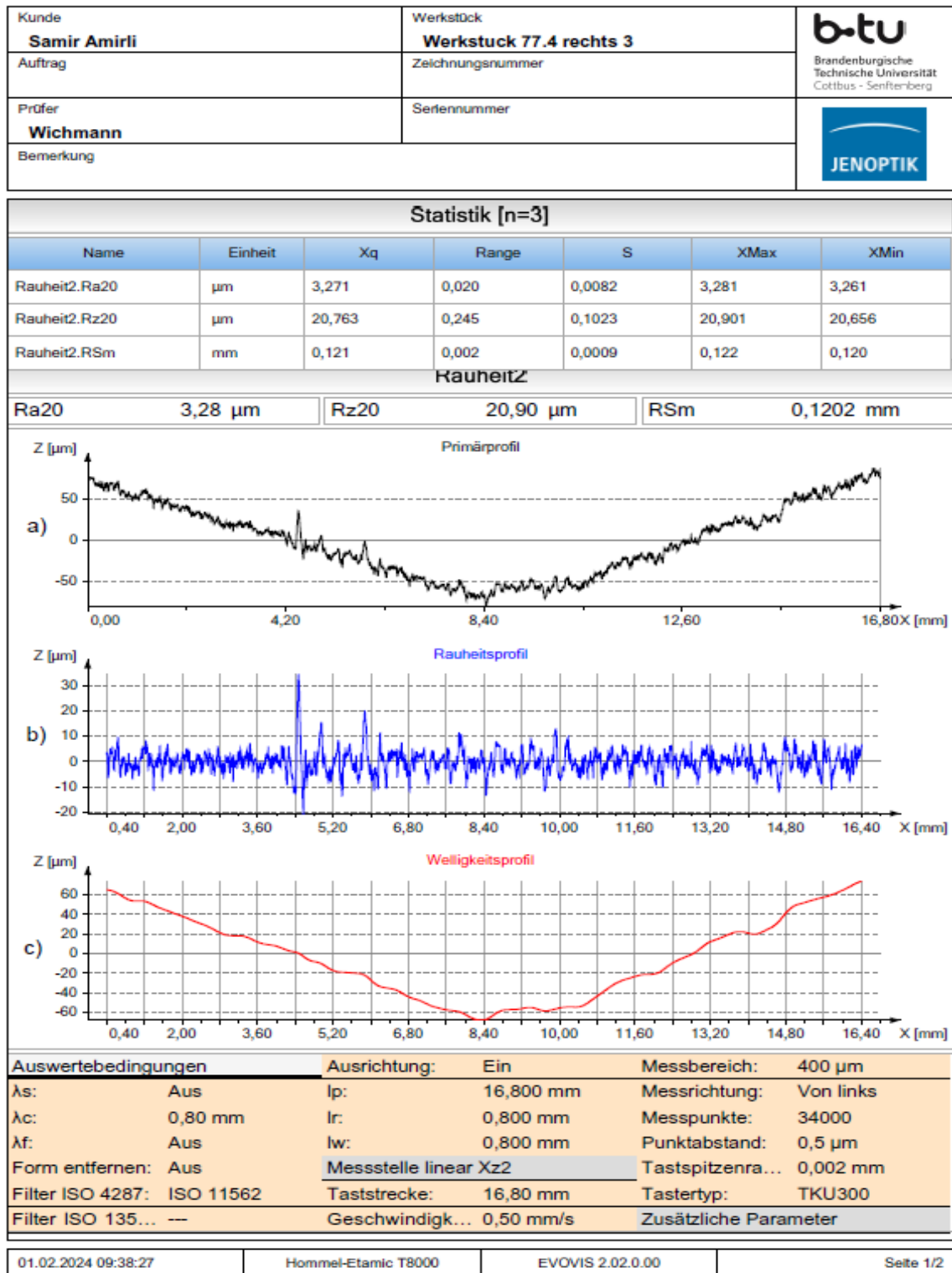
Nəticələrin sol kəsikdə ölçmələrdən alınan qiymətlərdən iki dəfədən çox fərqlənməsi onunla izah edilir ki, pəstahın dərin qatlarına abraziv dənələrinin nüfuz edərək yonqar əmələgətirməsi bir qədər çətin şəraitdə gedir. Veriş hərəkətinin $77,4$ mm/dəq rejimləri ilə kəsilmiş pəstahın sağ kəsiyində alınan profiloqram ölçüləri şəkil 4.1.10-da verilmişdir.

Profiloqram üzrə alınmış nəticələr göstərir ki, səthin kələ-kötürlüyünün orta hündürlüyü $R_a=3,28$ mkm (şəkil 4.1.10 a), kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü $R_z=20,90$ mkm (şəkil 4.1.10 b) və kələ-kötürlüklərin orta addımı $S_m=0,1202$ mm arasında dəyişir. Sağ kəsikdə alınan dalğavarilik ölçüləri $-70 \div +65$ mkm-ə qədər dəyişir (şəkil 4.1.10 c). Buradan emal olunmuş səthin uzunluğunun orta ölçüsündə dalğavariliklə çökük səth yaranır (şəkil 4.1.10. c).

Şəkil 4.1.8, şəkil 4.1.9 və şəkil 4.1.10-n müqayisəsi göstərmişdir ki, bir rejim daxilində kəsilmiş səthlərin müxtəlif en kəsiyində kələ-kötürlüyün və dalğavariliyin ölçüləri çox fərqli qiymətlərdə alınır ki, bu da veriş hərəkətinin qiymətinin artması ilə kəsmə prosesi pəstahın hündürlüyü boyunca mürəkkəb şəraitdə gedir. Şəkil 4.1.11, şəkil 4.1.12 və şəkil 4.1.13-də verilmiş profiloqram ölçüləri uzununa verişin $S_{uz}=91$ mm/dəq sürətləri ilə aparılmış tədqiqatların nəticələrini əks etdirir.

$S_{uz}=91$ mm/dəq veriş sürəti ilə hidroabrazivlə kəsilmiş səthin sol kəsiyində profiloqramlar üzrə nəticələrin qrafiki şəkil 4.1.11-də verilmişdir.

Məlum olmuşdur ki, şəkil 4.1.11-də sol kəsikdə pəstahın səthində kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü $R_a=12,66$ mkm, kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü $R_z=49,95$ mkm və kələ-kötürlüyün orta addımı $S_m=0,6447$ mm alınır. Ölçmələr onu göstərir ki, sol en kəsikdə hidroabraziv emal prosesinin ilkin anında getməsində kəsiyin profilinin formalaşması baş verir. Abraziv dənələrin emal səthinə toxunması formalaşır, ona görə də verişin yüksək qiymətlərində kəsilən səthin kələ-kötürlüyü artır.



Şəkil.4.1.10 Veriş hərəkətinin $S_{uz}=77,4 \text{ mm/dəq}$ sürəti ilə kəsilmiş pəstahın sağ kəsiyində alınan profiloqram ölçüləri

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-səthdə yaranan dalğavarilik

Kunde Samir Amirli	Werkstück Werkstück 91 links 1	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg
Auftrag	Zeichnungsnummer	
Prüfer Wichmann	Seriennummer	
Bemerkung		



Şəkil 4.1.11 $S_{uz} = 91 \text{ mm}/d_{eq}$ veriş sürəti ilə hidroabrazivlə kəsilmiş səthin sol kəşiyində profiloqram ölçüləri

- a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü,
c)-səthdə yaranan dalğavarilik

Buna baxmayaraq şəkil 4.1.11 a və 4.1.11 b-dən göründüyü kimi kələ-kötürlüyün kəsilmiş səth üzrə paylanması bərabərləşmiş formada gedir. Yəni kəsmə şəraiti və emal prosesi stabilləşir. Dalğavarilik böyük hədlərdə -350 mkm-lə +200 mkm arasında dəyişir. Yəni $S_{uz}=91 \text{ mm/dəq}$ verişində dalğavarilik 3÷4 dəfə artır ki, buda kəsmə prosesində veriş hərəkətinin yüksəlməsi nəticəsində müşahidə olunur.

Şəkil 4.1.12-də tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, $S_{uz}=91 \text{ mm/dəq}$ veriş sürəti ilə hidroabrazivlə kəsilmiş səthin orta kəsiyində alınmış profiloqramın həndəsi ölçüsünün dəyişməsi sol kəsikdən xeyli fərqlənir.

Ölçmələr göstərmişdir ki, bu halda $R_a=6,56 \text{ mkm}$, $R_z=30,58 \text{ mkm}$ və kələ-kötürlüyün orta addımı $S_m=0,3364 \text{ mm}$ alınır. Yəni orta en kəsik üzrə kələ-kötürlüyün hündürlükləri və addımı iki dəfədən çox azalır. Dalğavarilik (şəkil 4.1.12 c) təqribən 4 dəfə aşağı düşmüşdür. Səthin belə formalaşması onu göstərir ki, pəstahın qalın təbəqələrində kəsmə şəraiti bərabər vəziyyətdə keçir.

Şəkil 4.1.13-də verilmiş profiloqram üzrə qiymətlər $S_{uz}=91 \text{ mm/dəq}$ rejimlərində alınmış nəticələndir.

Nəticələr göstərir ki, kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü sol və orta en kəsikdə alınmış qiymətlərdən xeyli azalmaqla $R_a=3,77 \text{ mkm}$, kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü isə azalaraq $R_z=23,06 \text{ mkm}$ -ə çatır. Eyni zamanda kələ-kötürlüyün paylanma addımı azalaraq $S_m=0,1293 \text{ mm}$ olur. Dalğavariliyin dəyişmə intervalı -5÷ mkm qədər müşahidə olunmasına baxmayaraq onun addımları çox kiçik intervalda dəyişir.

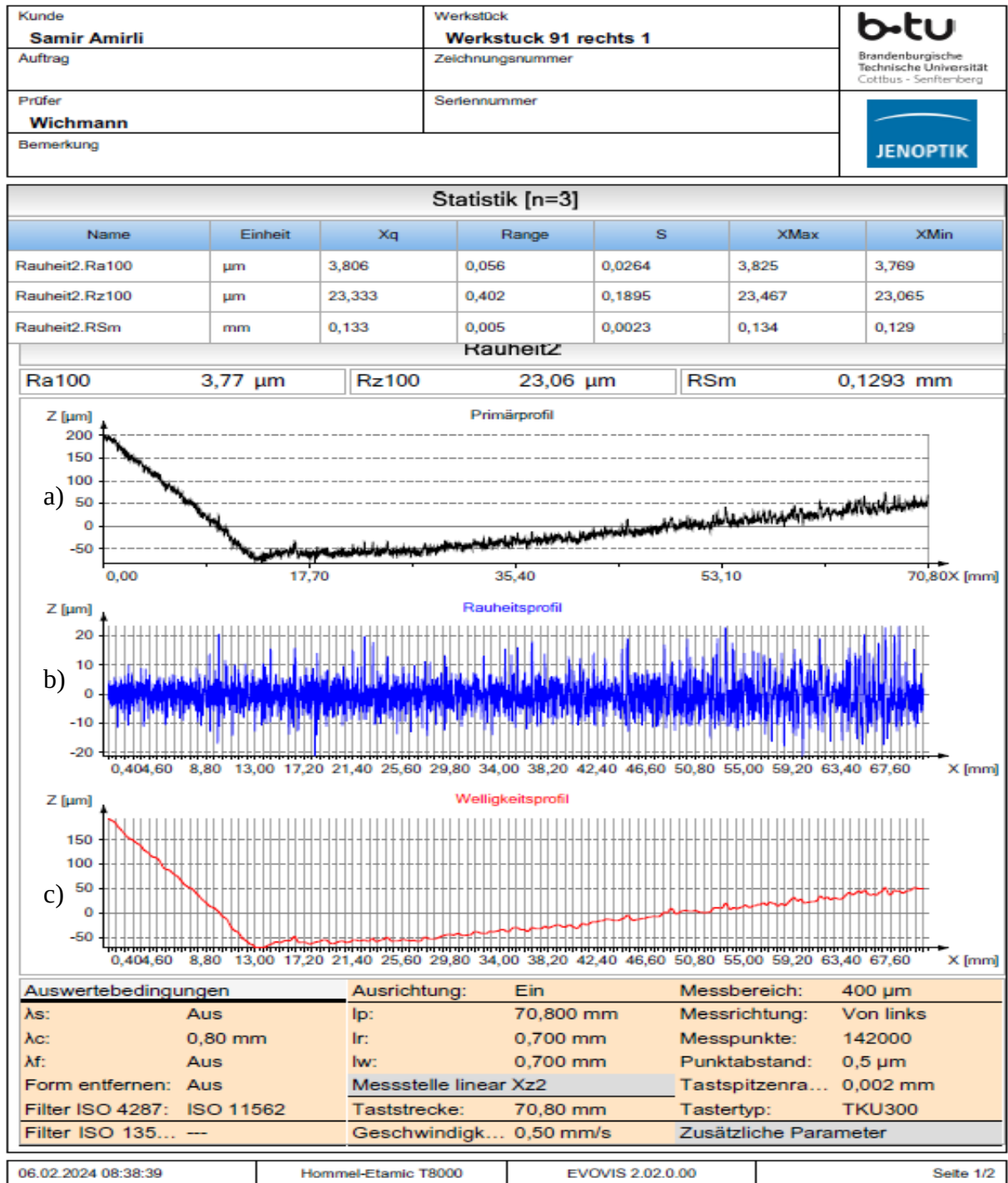
Aparılmış tədqiqatların nəticəsində uzununa veriş hərəkətindən asılı olaraq müxtəlif en kəsiklər üzrə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün (R_a)-nın təcrübədən alınan qiymətləri cədvəl 4.1.1-də və əyriləri isə qrafik 4.1.1-də verilmişdir.



Şəkil 4.1.12 $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ veriş sürəti ilə hidroabrazivlə kəsilmiş

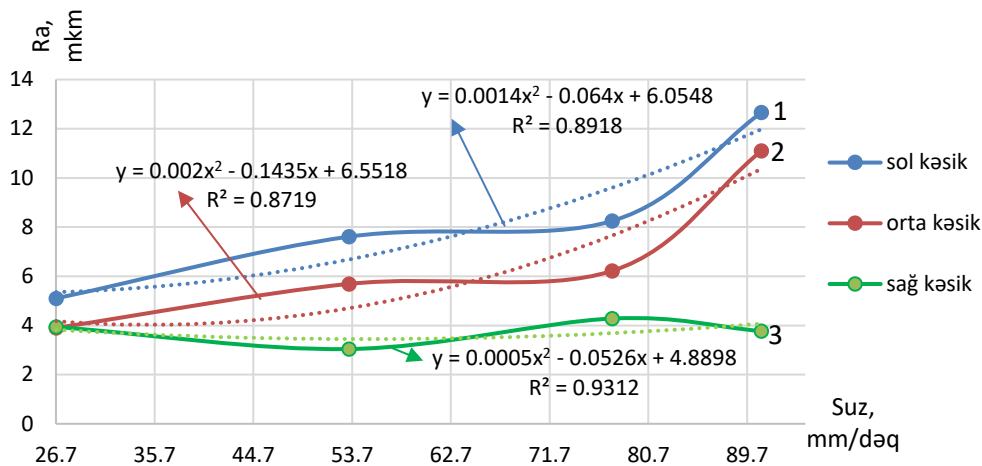
səthin orta kəsiyində kəsiyində profiloqram üzrə nəticələr

- a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-
səthdə yaranan dalğavarilik



Şəkil 4.1.13 $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ veriş sürəti ilə hidroabrazivlə kəsilmiş səthin sağ kəsiyində profiloqram üzrə nəticələr

a)-kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü, b)-kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü, c)-
səthdə yaranan dalğavarilik



Qrafik 4.1.1 Uzununa veriş hərəkətindən asılı olaraq müxtəlif en kəsiklər üzrə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün (R_a) təcrübədən alınma əyriləri

Cədvəl 4.1.1 Veriş hərəkətindən asılı olaraq müxtəlif en kəsiklər üzrə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün (R_a) təcrübədən alınan qiymətləri

$S_{uz}, mm/dəq$	26,7	53,4	77,4	91
$R_{a1}, mkm, \text{sol kəsik}$	5,1	7,61	8,25	12,66
$R_{a2}, mkm, \text{orta kəsik}$	3,9	5,69	6,22	11,1
$R_{a3}, mkm, \text{sağ kəsik}$	3,94	3,04	4,28	3,77

S_{uz} -nün R_a -ya təsirinin riyazi ifadələrinin hesablanması aparılmış (qrafik 4.1.1.) və müəyyən edilmiş tənliklər əsasında reqressiya əmsalları tapılmışdır. Nəzəri hesablamalardan məlum olmuşdur ki, pəstahın sol, orta və sağ en kəsik üzrə alınmış əyrilərin riyazi ifadələri qrafiklərin paylanması asılı olaraq fərqli tənliklərlə ifadə olunur. Riyazi hesablamalardan alınmış tənliklər 4.1.1 ifadəsində (R_a -nın indeksində verilmiş ədədlər müvafiq əyrilərin nömrəsini göstərir) verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 R_{a1} &= 6,0716 - 0,0649S_{uz} + 0,0014S_{uz}^2 \\
 R_{a2} &= 6,5518 + 0,1435S_{uz} - 0,002S_{uz}^2 \\
 R_{a3} &= 4,8898 - 0,0526S_{uz} + 0,0005S_{uz}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.1}$$

Alınmış ifadələrə əsasən (4.1.1 düsturları) uzununa verişdən asılı olaraq hesablanmış R_a -nın (mkm) qiymətləri cədvəl 4.1.1-də verilmişdir. Həmin ayrılərə görə hesablamaların reqresiya əmsalı qrafiki qırıq xətlərlə göstərilir və $R^2=0,8719\div0,9312$ arasında dəyişir ki, bu da təcrübələrdən alınan R_a -ların qiymətlərinin düzgünlüyünün təsdiqini göstərir.

R_a -nın nəzəri hesablamaların veriş uzunluğundan alınmış qiymətləri cədvəl 4.1.2-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.2

R_a -nın (mkm) S_{uz} verişdən asılılığının nəzəri hesablamalardan alınmış hədləri

$S_{uz}, mm/dəq$	26,7	53,4	77,4	91
$R_{a1}, mkm, Sol kəsik$	5,34	6,63	9,49	11,82
$R_{a2}, mkm, orta kəsik$	4,15	4,59	7,43	10,06
$R_{a3}, mkm, orta kəsik$	3,84	3,51	3,81	4,24

Verilmiş şəkillərdən məlum olmuşdur ki, müştüyün və yaxud pəstahın (kəsmə sxemindən asılı olaraq) uzununa verişindən asılı olaraq kontakt zonası səthlərində yaranan ayrılərin xarakterləri və hədd ölçüləri mürəkkəb formada dəyişir. Məlum olmuşdur ki, veriş hərəkətinin sürəti artdıqca emal olunmuş səthin həm sol, orta və sağ oxları üzrə yaranan kələ-kötürlüklərin hündürlükləri R_a və R_z ilkin olaraq (26,7mm/dəq – dən 53,4 mm/dəq) monoton artır, veriş sürətinin sonrakı artımında (77,4 mm/dəq) orta xətt üzrə kələ-kötürlüyün hədd ölçüləri yenə də yüksəlir, lakin 91mm/dəq sürətində həm orta və sağ xətt üzrə kələ-kötürlüyün hədd qiymətləri aşağı düşür. Göstərilən tendensiyanın R_z üçündə eyni olduğu müşahidə edilmişdir (qrafik 4.1.2).

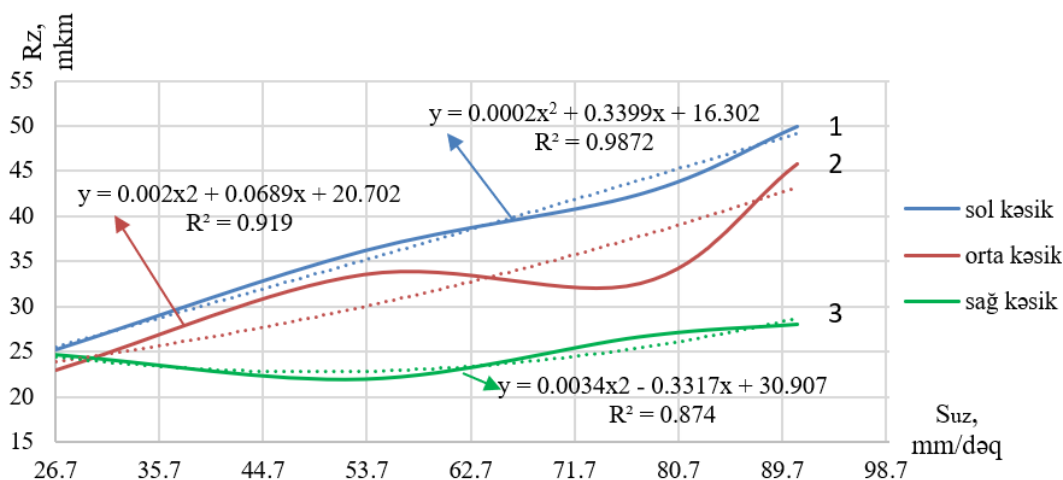
Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verişdən asılılığının təcrübi hesablamalardan alınan qiymətləri cədvəl 4.1.3-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.3

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verişdən asılılığının təcrübi hesablamalardan alınmış qiymətləri

$S_{uz}, mm/dəq$	26,7	53,4	77,4	91
$R_z, mkm, sol kəsik$	25,25	36,18	42,47	49,95
$R_z, mkm, orta kəsik$	22,95	33,56	32,58	45,85
$R_z, mkm, sağ kəsik$	24,69	21,98	26,68	28,06

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verişdən asılılığının təcrübədən alınmış asılılıq əyriləri qrafik 4.1.2-də verilmişdir.



Qrafik 4.1.2 Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün (R_z) uzununa verişdən (S_{uz}) asılılıq əyriləri

Qrafik 4.1.2-də alınmış kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verişdən asılılıq qrafiklərinin riyazi həlli və rəqresiya əmsalının hesablanması nəticəsində müəyyən olunmuş asılılıqlar 4.1.2 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 R_{z1} &= 16,302 + 0,3399S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 \\
 R_{z2} &= 20,702 + 0,0689S_{uz} + 0,002S_{uz}^2 \\
 R_{z3} &= 30,907 - 0,3317S_{uz} + 0,0034S_{uz}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.2}$$

Cədvəl 4.1.4-də nəzəri tənliklər əsasında hesablanmış R_z -in S_{uz} verisdən asılılığından alınan hədd ölçüləri verilmişdir. Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, R_z -in S_{uz} verisdən asılılıqlarının reqresiya əmsalı (qrafik 4.1.2-də verilmiş qırıq xətlə olan əyrilər) $R^2=0,874\div 0,9872$ arasında dəyişir. Təcrübədən və nəzəri hesablamalar bir-birinə çox yaxın olduğu üçün onların etibarlıq ehtimalı yüksəkdir [97, s.149].

Cədvəl 4.1.4

**Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün uzununa verisdən asılılığının
nəzəri hesablamalardan alınmış hədlərinin cədvəli**

$S_{uz}, mm/dəq$	26,7	53,4	77,4	91
R_z, mkm, sol kəsik	25,52	35,02	43,81	48,89
$R_z, mkm, orta$ kəsik	23,97	30,08	38,02	43,53
$R_z, mkm, sağ$ kəsik	24,47	22,89	25,60	28,88

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. Eyni zamanda veriş hərəkəti sürətinin $S_{uz} = 77,4 \text{ mm/dəq}$ –dən $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ –yə qədər artması şəraitində kontakt zonasına düşən kəsici abraziv dənələrinin sayında yaranan rasionallıq abraziv dənələrinin bir-biri arasında toxunaraq qırılmasını xeyli artırır. Ona görə də kəsmə prosesində sol və sağ xətlər üzrə kələ-kötürlüyün azalması müşahidə olunur. Lakin orta xətt üzrə kələ-kötürlüyün yüksəlməsi isə abraziv dənələrinin orta xəttə konsentrasiyasının cəmləşməsi ilə izah olunur.

Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı poladların kəsilməsində uzununa verisdən asılı olaraq kələ-kötürlüyün kontakt zonası üzrə paylanması orta addımının tədqiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu parametrin (yəni S_m) ölçülərinin öyrənilməsi kəsmə zamanı yaranan kələ-kötürlüklərin topoqrafiyasının dəyişmə xüsusiyyətlərini, emal olunmuş səthin kontakt sahəsi və uzunluğunun dəyişmə mexanizmini müəyyən

etməyə imkan verir. Ekspremental tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, (cədvəl 4.1.5) veriş hərəkəti sürətinin artması ilə kələ-kötürlüyünün orta addımının 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 $S_m = 0,1005 \text{ mm}$ 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. Eləcədə kələ-kötürlüyün orta addımının $S_{uz} = 7,4 \text{ mm/dəq}$ və $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ sürətlərində dəyişməsi qrafik 4.1.3-da verildiyi kimi müvafiq olaraq yüksəlir.

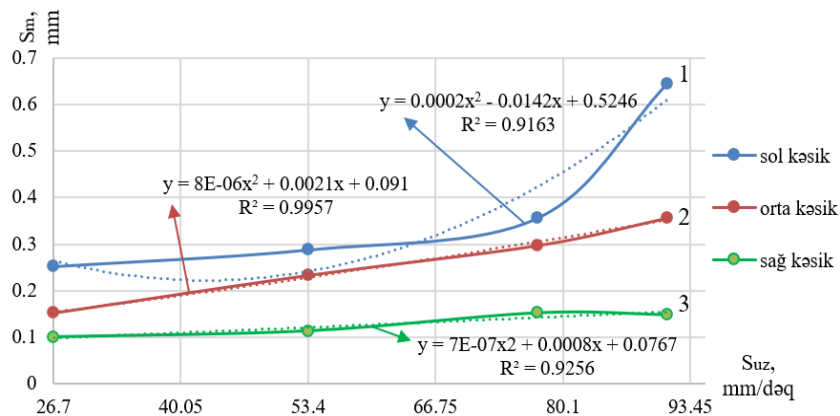
Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığının riyazi hesablamaları müəyyən edilmiş və onların hər bir əyri üçün reqresiya əmsalı hesablanaraq tapılmışdır.

Cədvəl 4.1.5

**Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığının
təcrübədən alınmış qiymətləri**

$S_{uz, mm/dəq}$	26.7	53.4	77.4	91
$S_m, \text{ mm, sol}$	0.2518	0.2878	0.3556	0.6447
$S_m, \text{ mm, orta}$	0.1525	0.2335	0.2975	0.3564
$S_m, \text{ mm, sağ}$	0.1005	0.1137	0.1532	0.1493

Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılı olaraq dəyişmə əyriləri qrafik 4.1.3–də verilmişdir.



**Qrafik 4.1.3 Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılı
olaraq dəyişmə əyriləri**

Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığının nəzəri hədləri cədvəl 4.1.6-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.6

Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığının nəzəri hədləri

$S_{uz}, mm/dəq$	26,7	53,4	77,4	91
S_m, mm, sol	0,29	0,34	0,62	0,89
$S_{m,mm, orta}$	0,23	0,30	0,35	0,09
$S_{m,mm, sağ}$	0,10	0,12	0,14	0,16

Kələ-kötürlüyün orta addımının uzununa verişdən asılılığı qrafiklərinin riyazi tənlikləri 4.1.3 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 S_{m1} &= 0,5246 - 0,0142S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 \\
 S_{m2} &= 0,091 + 0,0021S_{uz} - 0,000008S_{uz}^2 \\
 S_{m3} &= 0,0767 + 0,0008S_{uz} - 0,0000007S_{uz}^2
 \end{aligned}
 \quad (4.1.3)$$

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, S_m -n S_{uz} verişdən asılılıqlarının reqresiya əmsalı $R^2=0,9163 \div 0,9957$ arasında dəyişir. Təcrübədən və nəzəri hesablamalar bir-birinə çox yaxın olduğu üçün onların etibarlılıq ehtimalı yüksəkdir.

Nəzəri düsturlardan (4.1.3) S_m hesablanmış qiymətləri cədvəl 4.1.6-də verilmişdir. Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, riyazi ifadələrdən alınan S_m qiymətləri təcrübədən alınan hədlərə yaxın olub, xətası $0,08 \div 0,01\%$ -ə qədər fərqli olur. Bu da təcrübələrin yüksək dəqiqliklə icra olunmasını göstəricisidir.

Məsələn $S_{uz} = 77,4 \text{ mm/dəq}$, $S_{msol} = 0,3556 \text{ mm}$, $S_{morta} = 0,2975 \text{ mm}$, $S_{msağ} = 0,1532 \text{ mm}$ və s. olur. Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, veriş sürətinin artırılmasının bütün hallarında kələ-kötürlüyün orta addımının ən böyük qiymətləri kontakt zonasının sol xətti səthi üzərində müşahidə olunur. Bu onunla izah olunur ki, hidroabraziv kəsmədə sol xətt üzrə əməliyyatın ilkin başlanğıc səthinin

kəsilməsi gedir. Ona görə də bu səthə təsir edən abraziv dənələri daha çox ətrafa paylanır və kəsmədə iştirak edən dənələrin sayı orta və sağ xətt üzrə gedən kəsmə prosesindən az olur. Bu səbəbdən hidroabraziv kəsmə prosesində ilkin mərhələdə formalaşan kələ-kötürlüyün orta addımı yüksək olur. Kəsmə prosesinin dərinliyi artdıqca yonqar əmələgəlmə şəraiti (hidroabraziv emalında) stabilləşir, kəsici abraziv dənələrinin sayı artır (kəsmədə qırılmış abraziv dənələrinin hesabına) və nəticədə kəsilmiş səthlərdə kələ-kötürlüyün S_m orta addımı kiçilir. Bu xüsusiyyət veriş hərəkətinin bütün ölçülərində müşahidə olunur (qrafik 4.1.3). Eləcədə tədqiqatlar göstərmişdir ki, veriş hərəkətinin sürəti $S_{uz} = 26,7 \text{ mm/dəq}$ -dən $S_{uz} = 91 \text{ mm/dəq}$ -ə qədər yüksəldikcə həm sol, həm orta və həm də sağ xətlər üzrə formalaşan kələ-kötürlüyün S_m orta addımı monoton olaraq yüksəlir ki, bu da uzununa verişin artması ilə vahid səthə düşən kəsici abraziv dənələrinin sayının azalması ilə izah edilir.

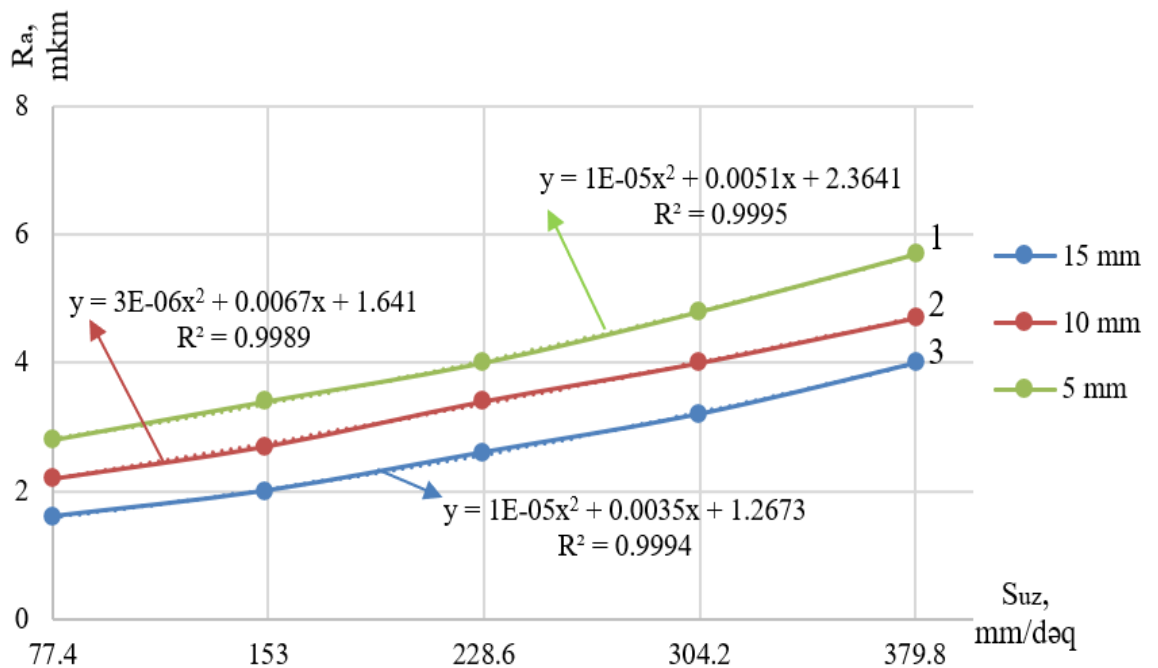
Məlumdur ki, maşın hissələrinin istehsalında müxtəlif tərkibi polad materiallarından geniş istifadə olunur. Ona görə də Almaniya standartlarına görə DIN-59200 üzrə istehsal olunan EURONORM88 poladının emalında pəstahın qalınlığını 5mm, 10 mm və 15 mm götürməklə hidroabraziv kəsmədə formalaşan kələ-kötürlüklərin yüksək uzununa veriş rejimlərində tədqiqi aparılmışdır [143, s.1]. Tədqiqatlarda hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin qiyməti 77,4 mm/dəq -dən 380 mm/dəq –yə qədər beş intervalda dəyişərək R_a -nın həddi ölçüləri müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün təyin olunmuşdur [110, s.62-63]. Müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün eksperimental tədqiqatlardan alınmış qiymətləri cədvəl 4.1.7- də göstərilmişdir.

Cədvəl 4.1.7

Kələ-kötürlüyün müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün uzununa verişdən asılılığının təcrübədən alınmış qiymətləri

$S_{uz}, \text{mm/dəq}$	77.4	152	228	304	380
R_{a1}, mkm	1.6	2	2.6	3.2	4
R_{a2}, mkm	2.2	2.7	3.4	4	4.7
R_{a3}, mkm	2.8	3.4	4	4.8	5.7

Alınmış nəticələrin qrafikləri qrafik 4.1.4-də verilmişdir [5. s.48; s.49].



Qrafik 4.1.4 Müxtəlif qalınlıqlı pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində alınan kələ-kötürlüyün nəticələrinin qrafikləri

Müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün alınmış nəzəri qiymətlər cədvəli 4.1.8-də göstərilmişdir.

Cədvəl 4.1.8

Müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün uzununa veriş asılılığından alınmış nəzəri qiymətlər

$S_{uz}, mm/dəq$	77,4	152	228	304	380
R_{a1}, mkm	1,60	2,03	2,59	3,26	4,04
R_{a2}, mkm	2,18	2,73	3,32	3,96	4,62
R_{a3}, mkm	1,60	2,03	2,59	3,26	4,04

Müxtəlif qalınlıqlı pəstahlar üçün qrafiki asılılığının tənlikləri 4.1.4 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned} R_{a1} &= 1,2673 + 0,0035S_{uz} - 0,00001S_{uz}^2 \\ R_{a2} &= 1,641 + 0,0067S_{uz} - 0,000003S_{uz}^2 \\ R_{a3} &= 2,3641 + 0,0051S_{uz} - 0,00001S_{uz}^2 \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

Qrafik 4.1.4-də verilmiş 1-ci qrafik qalınlığı 5 mm olan pəstahların kəsilməsində, qrafik 2 qalınlığı 10 mm olan pəstahların kəsilməsində və qrafik 3 isə qalınlığı 15 mm olan pəstahın müxtəlif veriş hərəkətləri ilə kəsilməsində alınan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyünün dəyişməsinə ifadə edir. Qəbul edilmiş metodikaya əsasən R_a -nın qiyməti pəstahın qalınlığının orta kəsiyindəki xətt üzrə tədqiq olunmuş qiymətləri ilə verilmişdir. Məsələn qalınlığı 5 mm olan pəstahın 2,5 mm-də alınan, qalınlığı 10 mm olan pəstahın 5 mm hündürlüyündə və qalınlığı 15 mm olan pəstahın 7,5 mm hündürlüklərində keçən səthlərdə kələ-kötürlüklərin R_a parametrləri təyin olunmuşdur.

Ölçmənin metodikasının belə seçilməsi onunla izah edilir ki, hidroabraziv kəsmədə yonqar çıxarmanın ilk anında pəstahın səthinə yönəlmiş abraziv dənələri kəsmə şəraitindən asılı olaraq səthin başlanğıc və sonunda yaranan kələ-kötürlükləri qeyri-sabit edir. Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın dərin qatlarında abraziv dənələrinin çıxardığı qatlar və onların formaları sabitləşir, ona görə də kələ-kötürlük xeyli azalmağa doğru gedir.

Qrafik 4.1.4-dən göründüyü kimi pəstahın qalınlığı artdıqca kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü R_a azalır. Məsələn, əgər qalınlığı 5 mm olan pəstahı 77,4 mm/dəq sürəti ilə kəsəndə səthdə yaranan kələ-kötürlük (1-ci əyri) $R_a=1,86$ mkm olduğu halda, pəstahın qalınlığı 10 mm olduqda həmin rejimdə $R_a=2,35$ mkm (2-ci əyri), pəstahın qalınlığı 15 mm olduqda isə eyni rejimlə kəsilmiş səthdə $R_a=3,1$ mkm (3-cü əyri) alınır. Təcrübələr göstərir ki, bu tendensiya verişin qiymətinin artırılmasından asılı olaraq, pəstahın qalınlığı artdıqca kəsmədə yaranan kələ-kötürlüyün qiymətinin (qrafik 4.1.3-də 1, 2 və 3-cü əyrilər) müvafiq olaraq yüksəlməsinə səbəb olur. Bu da onunla

izah edilir ki, veriş hərəkətinin sürəti artdıqca vahid zamanda abraziv dənələrinin çıxartdığı yonqarın həcmi artır və nəticədə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü yüksəlir. Veriş hərəkətinin sürətinin $153 \div 380 \text{ mm/dəq}$ dəyişməsi ilə kəsilən səthlərdə alınan kələ-kötürlüklərin praktiki qiymətləri cədvəl 4.1.7-də verilmişdir.

Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın qalınlığından asılı olaraq formalaşan səthdə kələ-kötürlüyün R_z maksimal hündürlüyü də müxtəlif qiymətlər alır. Qrafik 4.1.5-də verilmiş əyrilər kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığını ifadə edir. Burada 1-ci əyridə göstərilən kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün (R_z) dəyişməsi qalınlığı 5 mm olan pəstahın kəsilməsini, 2-ci əyri pəstahın qalınlığının 10 mm ölçüsündə kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinə və 3-cü əyri pəstahın qalınlığının 15 mm ölçüsündə hidroabrazivlə kəsmədə yaranan kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinə xarakterizə edir.

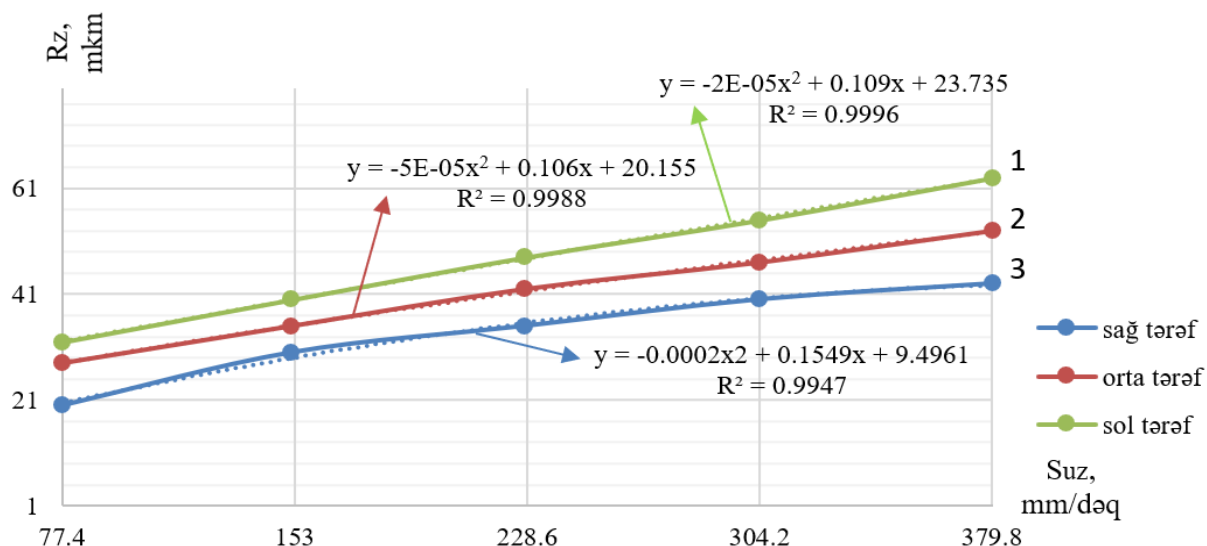
Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığının təcrübi qiymətləri cədvəl 4.1.9-da verilmişdir.

Cədvəl 4.1.9

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığının təcrübi qiymətləri

$S_{uz}, \text{mm/dəq}$	77.4	152	228	304
R_{z1}, mkm	20,51	30	35	40
R_{z2}, mkm	26,82	35	42	47
R_{z3}, mkm	32,54	40	48	55

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılıq əyriləri qrafik 4.1.5-də verilmişdir.



Qrafik 4.1.5 Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılıq əyriləri

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığının nəzəri qiymətləri cədvəl 4.1.10-da təsvir edilmişdir.

Cədvəl 4.1.10

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığının nəzəri qiymətləri

S_{uz} mm/dəq	77,4	152	228	304	380
R_{z1} ,mkm	20,29	28,42	34,42	38,10	39,48
R_{z2} ,mkm	28,06	35,11	41,72	47,76	53,22
R_{z3} ,mkm	32,05	39,84	47,55	55,02	62,27

Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığının qrafiklərdən alınmış tənlikləri 4.1.5 ifadəsində öz həllini tapmışdır.

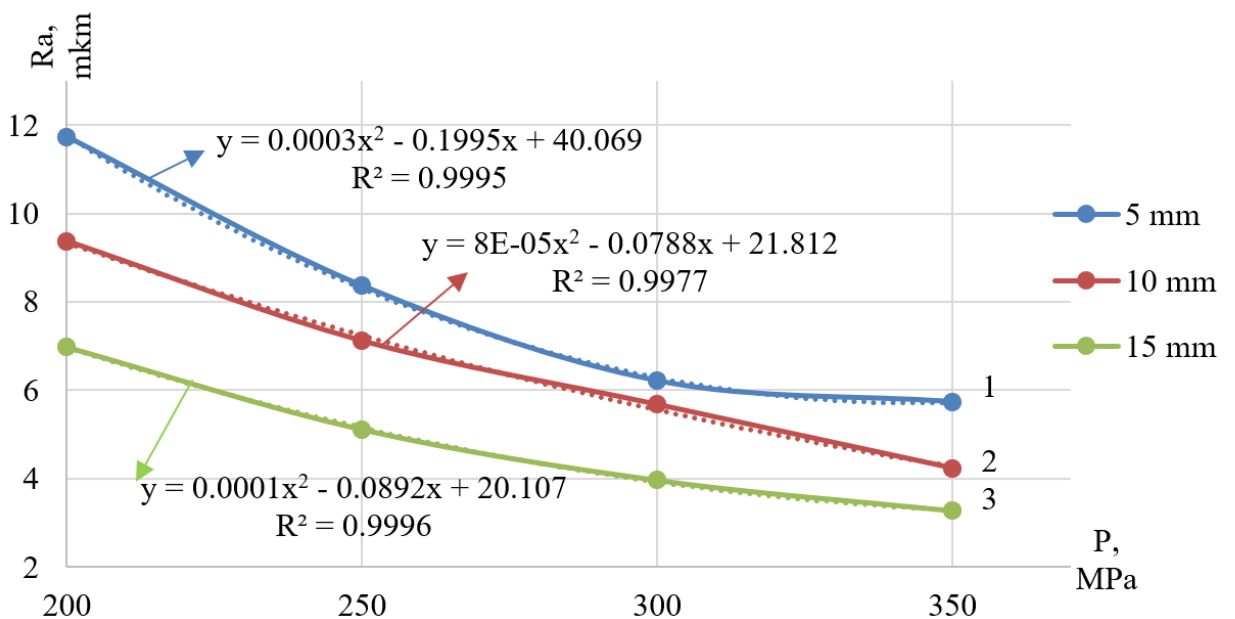
$$\begin{aligned}
R_{z1} &= 9,4961 + 0,1549S_{uz} - 0,0002S_{uz}^2 \\
R_{z2} &= 20,155 + 0,106S_{uz} - 0,00005S_{uz}^2 \\
R_{z2} &= 23,735 + 0,109S_{uz} - 0,00002S_{uz}^2
\end{aligned}
\tag{4.1.5}$$

Alınmış eksperimental və nəzəri təcrübələrin riyazi hesablamaları nəticəsində reqressiya əmsalı yaxın hədlər daxilində alınır. Reqressiya əmsalları $R^2 = 0,9947 \div 0,9996$ arasında dəyişir.

Bütün hallarda R_z kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü uzununa veriş hərəkətinin aşağı qiymətində ($S_{uz} = 77,4$ mm/dəq) minimal qiymət alır. Məsələn, $S_{uz} = 77,4$ mm/dəq ilə 5 mm qalınlığında olan pəstahların səthində kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü $R_z = 20,51$ mkm, pəstahın qalınlığı 10 mm olduqda $R_z = 26,82$ mkm, 15 mm-lik pəstahda $R_z = 32,54$ mkm olur. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsi prosesində kəsilmiş səthin kələ-kötürlüyünün həddi ölçüləri onların qalınlığından çox asılıdır. Pəstahların qalınlığı artdıqca hidroabraziv emalın kəsmə rejimlərinin təyin olunması tələb olunan kələ-kötürlüyün maksimal qiymətinin azaldılması imkanlarını nəzərə alaraq həll edilməlidir. Pəstahların qalınlığı yüksəldikcə hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin qiymətinin minimuma endirməklə kəsilən səthin vahid sahəsinə düşən abraziv dənələrinin sayını artırmış oluruq ki, bunun da nəticəsində kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünü azalda bilərik. Nəticədə, pəstahın kəsilmiş səthində vahid səviyyəyə düşən abraziv dənələrinin sayının artırılması hesabına emal olunmuş səthin mikrobərkliyinin yüksəlməsinə nail olunur ki, bu da gəmi gövdə hissələrinin hazırlanmasında mühüm rol oynayır.

HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsilməsində formalaşan səthin kələ-kötürlüyü bir çox texnoloji, kinematik, konstruktiv və emal mühütü amillərindən asılı olaraq müxtəlif qiymətlər alır. Bu səbəbdən ən önəmli amillərin, yəni texnoloji amillərin hidroabraziv kəsmədə səthdə formalaşan kələ-kötürlüyə təsir göstərən amillərdən biri kəsmə zonasına verilən su şırnağı ilə abraziv qarışığının təzyiqindən asılıdır. Su abraziv qarışığının təzyiqinin artması poladların kəsmə prosesində kəsici alət rolunu oynayan su abrazivin kəsmə imkanları yüksəlir və alınan pəstahın kəsilməsi

intensivləşir, bu halda optimal kəsmə prosesindən asılı olaraq emal səthində yaranan kələ-kötürlüyün tələb olunan hədlər daxilində alınması eksperimental tədqiqatlarla araşdırılmışdır. Təcrübələrdə pəstahın qalınlığı 5, 10 və 15 mm götürülərək, $S_{uz}=26,7$ mm/dəq uzununa verişlə, abraziv dənələrinin ölçüsü 80 mkm və abraziv dənələrinin sərfiyyatını $Q=125qr/l$ qəbul edərək hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklərin su abraziv şırnağının təzyiqindən təcrübi qiymətləri cədvəl 4.1.11-də və hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklər ayrılər üzrə (1-ci ayrı 5 mm, 2-ci ayrı 10 mm və 3-cü ayrı 15 mm) qrafik.4.1.6-da verilmişdir.



Qrafik 4.1.6 Hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklərin təzyiqdən asılılıq ayrıləri

Cədvəl 4.1.11

Hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklərin təzyiqdən asılılığının təcrübi qiymətləri

P, MPa	200	250	300	350
R_{a1}, mkm	11,732	8,365	6,214	5,742
R_{a2}, mkm	9,375	7,115	5,675	4,234
R_{a3}, mkm	6,98	5,113	3,964	3,273

Hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklərin nəzəri qiymətləri cədvəl 4.1.12-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.12

Hidroabraziv emalda kəsiyin səthində alınmış kələ-kötürlüklərin nəzəri qiymətləri

P,MPa	200	250	300	350
R_{a1},mkm	12,169	8,944	7,219	6,994
R_{a2},mkm	9,252	7,112	5,372	4,032
R_{a3},mkm	6,267	4,057	2,347	1,137

Alınmış qrafiki əyrilərin (qrafik 4.1.6) riyazi hesablamaları nəticəsində əyrilərdən alınan tənliklikləri 4.1.6 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 R_{a1} &= 40,069 - 0.1995P_0 + 0,0003 P_0^2 \\
 R_{a2} &= 21,812 - 0,0788P_0 + 0,00008 P_0^2 \\
 R_{a3} &= 20.107 - 0.0892P_0 + 0,0001P_0^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.6}$$

Qrafik 4.1.6-da verilmiş 1-ci əyri qalınlığı 5 mm olan, 2-ci əyri qalınlığı 10 mm olan və 3-cü əyri qalınlığı 15 mm olan pəstahların kəsilməsində alınan kələ-kötürlüklərin su abraziv şırnağının təzyiqinin 200 MPa-dan 350 MPa-a qədər dəyişməsində alınmışdır. Qrafiklərdən göründüyü kimi kəsmənin bütün hallarında su abraziv şırnağının təzyiqi 200 MPa –dan 350 MPa-a qədər yüksəldikdə kəsilən səthin kələ-kötürlüyü kiçilir. Bu onunla izah edilir ki, su abraziv şırnağının təzyiqi yüksəldikcə vahid zamanda kəsilən səthdə təsir edən kəsici abraziv dənələrinin sayı yüksəlir. Ona görə də təzyiqin artması ilə vahid zamanda çıxarılan yonqarın ümumi sayı çoxalmaqla yanaşı, ayrı-ayrı yonqar elementlərinin qalınlığı kiçilir və ona müvafiq olaraq abraziv dənələrinin kəsilmiş səthdə buraxdığı kələ-kötürlüyün hündürlüyünün azalmasına səbəb olur. Qrafik 4.1.6-kı əyrilərdən göründüyü kimi reqressiya əmsalları $R^2 = 0,9977 - 0,9996$ arasında dəyişir.

Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki (qrafik 4.1.6), pəstahın qalınlığı artdıqca kəsmə zonasında yaranan kələ-kötürlük aşağı düşür. Bu onunla izah edilir ki, pəstahın qalınlığının kiçik ölçülərində, məsələn $h=5$ mm olduqda (1-ci əyri) hidroabraziv kəsmədə kəsilən qatda abraziv dənələrinin cəmləşməsi az olduğu üçün vahid səthə düşən abrazivlərin sayı azalır, bu səthdən çıxarılan yonqar qatının qalınlığı yüksəlir və nəticədə kələ-kötürlük artır. Pəstahın qalınlığı artdıqca (məs. 10 mm, 15 mm) kəsmə zonasına verilən su abraziv şırnağının kontakt zonasından kənara axmadığı üçün yonqar əmələ gəlmədə kəsən dənələrin sayı çoxalır və nəticədə hər bir abraziv dənəsi ilə çıxarılan yonqarın həcmi azalır ki, bu da kələ-kötürlüyün hündürlüyünün kiçilməsinə səbəb olur. Məlum olmuşdur ki, kələ-kötürlüyün emal olunan pəstahın qalınlığının artması ilə azalma tendensiyası su abraziv şırnağının bütün təzyiqlərində müşahidə olunur.

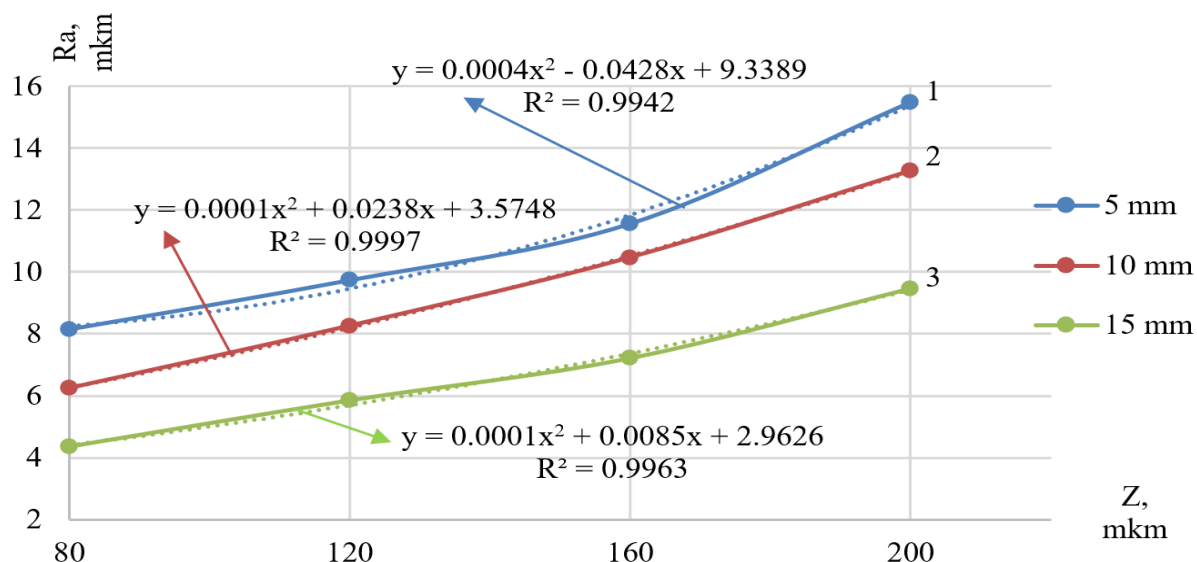
Metalların sərbəst abraziv dənələri ilə, yəni hidroabrazivlə kəsilməsində mühüm əhəmiyyət kəsb edən amillərdən biri də abraziv dənələrinin həndəsi forma və ölçüsüdür. Abraziv dənələrinin dənəvəriliyi [49, s.141], [136, s.1] mövcud standartla görə hidroabraziv emalda, ölçüləri 80 mkm-dən, 120 mkm, 160 mkm və 200 mkm-ə qədər olan dənələrdən istifadə edərək kəsmə prosesi yerinə yetirilib. Eyni zamanda kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən asılı olaraq dəyişməsinin təcrübi qiymətləri cədvəl 4.1.13-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.13

Abraziv dənələrinin dənəvəriliyinin kələ-kötürlüyə təsrinin təcrübi qiymətləri

Z, mkm	80	120	160	200
R_{a1}, mkm	8,16	9,743	11,564	15,485
R_{a2}, mkm	6,245	8,26	10,465	13,265
R_{a3}, mkm	4,354	5,852	7,216	9,475

Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən və emal olunan pəstahın qalınlığından asılı olaraq dəyişmə əyriləri qrafik 4.1.7-də verilmişdir.



Qrafik 4.1.7 Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən asılı olaraq dəyişməsi qrafiki

Cədvəl 4.1.14-də kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən asılılığının nəzəri qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 4.1.14

Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən asılılığının nəzəri qiymətləri

Z	80	120	160	215
$R_{a1}, h=5\text{mm}$	8,4749	9,9629	12,7309	16,7789
$R_{a2} h=10\text{mm}$	5,9149	4,2029	2,4909	0,7789
$R_{a3} h=15\text{mm}$	4,2826	5,4226	6,8826	8,6626

Cədvəl 4.1.13-də qiymətləri əsasında alınmış ayrıların riyazi ifadəsinin həlli nəticəsində təyin olunan tənliklər 4.1.7 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 R_{a1} &= 9,3389 - 0,0428Z + 0,0004Z^2 \\
 R_{a2} &= 3,5748 + 0,0238Z + 0,0001Z^2 \\
 R_{a1} &= 2,9626 + 0,0085Z + 0,0001Z^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.7}$$

Qrafik 4.1.7-də ayrılardan görüldüyü kimi regressiya əmsalları $R^2 = 0,9942-0,9997$ arasında dəyişir. Qrafikdə verilmiş ayrılar müvafiq olaraq, 1-ci əyri qalınlığı 5 mm, 2-ci əyri 10 mm və 3-cü əyri isə 15 mm olan pəstahların kəsilməsində təyin olunmuşdur. Kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünün (R_a) dəyişməsi abrazivin dənəvərliyinin 80 mkm-dən 200 mkm qədər dəyişməsində alınan kələ-kötürlüklərin qiymətlərində tədqiq olunmuşdur. Məlum olmuşdur ki, hər üç müxtəlif qalınlıqlı pəstahları hidroabrazivlə kəsəndə abrazivlərin dənəvəriliyi yüksəldikcə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü (R_a) artır. Alınmış nəticələr onunla izah olunur ki, abrazivin dənəvəriliyi artdıqca vahid həcmdə su şırnağında kəsmədə iştirak edən dənələrin sayı kəskin azalır. Dənəvərilik böyüdükcə onların həndəsi ölçülərinin yüksəlməsi ilə yanaşı yonqarəmələgəlmədə iştirak edən tiyələrin ölçüsü böyüyür, bu səbəbdən kəsmə zonasında əmələ gələn yonqarın ölçüləri artır. Lakin eyni vaxtda kəsmədə iştirak edən abraziv dənələrinin sayı azaldığı üçün kələ-kötürlüyün hündürlüyü yüksəlir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, orta hündürlüyünün artma intervalı kiçik abraziv dənələrində (məs. 80 mkm) aşağı olduğu halda, dənəvərilik və kəsilən pəstahın qalınlığı böyüdükcə kələ-kötürlüyün intervalı daha çox yüksəlir (qrafik 4.1.7-də 1, 2 və 3-cü əyrilərin 200 mkm dənəvəriliklə emalında alınan qiymətlərə bax).

Ona görə də hidroabraziv kəsmə üsulunda tələb olunan kələ-kötürlüyün həddinə uyğun olaraq optimal ölçüdə abraziv dənələrini seçmək lazımdır. Nəzərə alsaq ki, maşın hissələrinin hazırlanmasında xrom nikelli poladlarda kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü 4,5-6,5 mkm qədər olması tələb olunan şərtlərdən biridir, ona görə də HARDOX-500 poladından qalınlığı 15-20 mm olan detalların kəsilməsində abraziv dənələrinin dənəvəriliyini 80÷120 mkm arasında götürmək məsləhət görülür. Təvsiyə etdiyimiz abraziv dənələri ilə kəsmədə kiçik qalınlıqlı yonqarlar yaranır ki, nəticədə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü tələb olunan şərtlərə cavab verir.

Hidroabraziv emalda pəstahın kəsilən səthində kələ-kötürlüyün formalaşmasına təsir göstərən amillərdən biri abraziv dənələrinin su şırnağı ilə qarışdırılma çəkisidir. Abraziv dənələrinin su şırnağına qarışdırılan çəkisinin artması ilə kəsmədə iştirak edən abrazivin çəkisi artır, bu səbəbdən hidroabraziv emalda kontakt zonasından çıxarılan

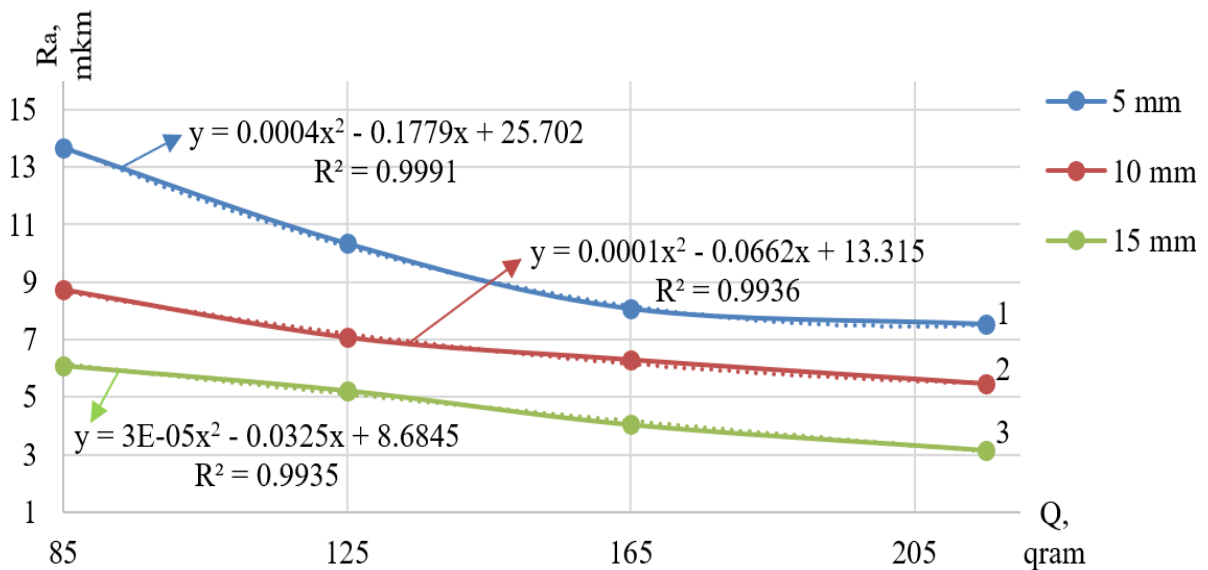
yonqarın həcmi vahid zamanda artır. Bu onunla izah edilir ki, abraziv dənələrinin çəkisi yüksəldikcə eyni vaxtda kəsən dənələrin sayı çoxalır.

Kələ-kötürlüyünün abraziv dənələrinin çəkisindən asılılığının təcrübələrdən alınmış nəticələri cədvəl 4.1.15-də və təcrübələrdən alınmış nəticələr, yəni asılılıq əyriləri qrafik 4.1.8-də verilmişdir.

Cədvəl 4.1.15

Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin çəkisindən asılılığının təcrübələrdən alınmış qiymətləri

$Q, q/l$	85	125	165	215
$R_{a1}, mkm, 5mm$	13,68	10,345	8,067	7,53
$R_{a2}, mkm, 10mm$	8,735	7,065	6,286	5,451
$R_{a3}, mkm, 15mm$	6,102	5,235	4,05	3,16



Qrafik 4.1.8 Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin çəkisindən asılılığı

Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin çəkisindən asılılığından alınmış nəzəri nəticələri cədvəl 4.1.16-da verilmişdir.

Cədvəl 4.1.16

Kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin çəkisindən asılılığının nəzəri alınmış nəticələri

Q (qr/l)	85	125	165	215
R_{a1} (mkm)	13,47	9,71	7,24	5,94
R_{a2} (mkm)	8,41	6,60	5,11	3,70
R_{a3} (mkm)	6,18	5,15	4,22	3,19

R_a -nın müxtəlif qalınlıqlı pəstahların kəsilməsində Q-dən asılılıq tənlikləri 4.1.8 ifadəsində verilmişdir.

$$\begin{aligned}
 R_a &= 25,702 - 0.1779Q + 0.0004Q^2 \\
 R_a &= 13,315 - 0.0662Q + 0.0001Q^2 \\
 R_a &= 8,6845 - 0.0325Q - 0.00003Q^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.8}$$

Qrafik 4.1.8-də verilən ayrılardan göründüyü kimi reqressiya əmsalları $R^2 = 0,9935 - 0,991$ intervalında dəyişir. Qrafik 4.1.8-dən göründüyü kimi, pəstahın qalınlığından asılı olmayaraq abraziv dənələrinin çəkisi 85 qr/l-dən 215 qr/l qədər artdıqca kəsilən səthin kələ-kötürlüyü monoton olaraq azalır. Əgər 15 mm qalınlıqlı pəstahı 85 qr/l sərfiyyatla kəsdikdə $R_a = 6,102$ mkm (3-cü əyri), 215 qr/l sərfiyyatı ilə kəsdikdə isə kələ-kötürlüyün hündürlüyü $R_a = 3,16$ mkm olur. Qalınlığı 10 mm olan pəstahın 85 qr/l sərfiyyatla kəsilməsində isə $R_a = 8,735$ mkm, 215 qr/l sərfiyyatla kəsilməsində $R_a = 5,451$ mkm alınır (2-ci əyri). Müvafiq olaraq qalınlığı 5 mm olan pəstahı 85 qr/l sərfiyyatla kəsdikdə $R_a = 13,68$ mkm, 215 qr/l sərfiyyatla kəsdikdə isə $R_a = 7,53$ mkm (1-ci əyri) olur.

Beləliklə, hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsi kələ-kötürlüyə qoyulan şərtlər daxilində optimallaşdırıldıqda abraziv dənələrinin sərfiyyatı yüksək qiymətlərdə (məsələn $Q = 200 \text{ qr/l} \div 215 \text{ qr/l}$) götürülməsi məsləhət görülür [62, s.61].

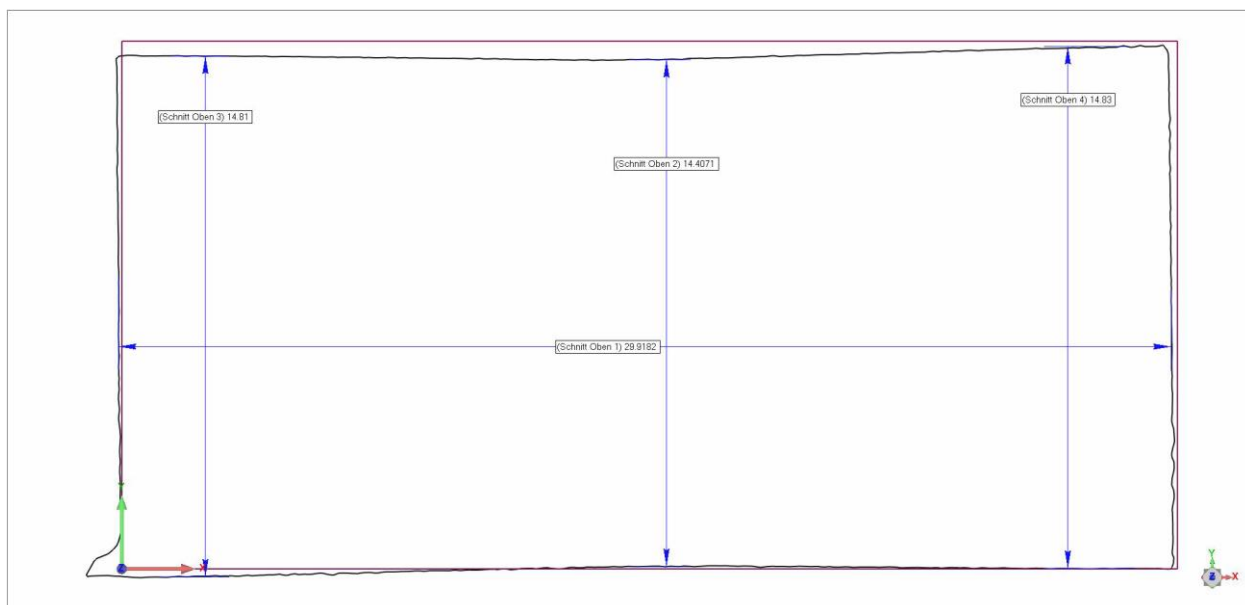
4.2. Hidroabraziv kəsmədə emal dəqiqliyinin araşdırılması

HARDOX-500 markalı polad pəstahlardan mürəkkəb konstruksiyalı maşın hissələrinin hazırlanmasında əsas texnoloji problemlərdən biri kəsmənin imkan verdiyi ölçü dəqiqliyinin alınması məsələsidir. 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. Bunun üçün cihazda linzanın və cihazın bünövrə uzunluğunu dəyişməklə ölçmə sahəsini 60 mm-dən 1550 mm-ə qədər ölçüdə olan detalların həndəsi parametrlərini tədqiq etmək olur [9, s.39-40]. Tədqiqatın metodikasına əsasən hidroabraziv kəsmədə emal dəqiqliyinin tədqiqi mürəkkəb profilə malik, ölçüsü 30×20×15 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 cədvəl 4.2.1-də verilmişdir [8, s.147-148]. Şəkil 4.2.1-də 2D üsulu ilə pəstahın ölçülməsi Gemetrik Control Repost proqramına əsasən aparılmışdır.

Cədvəl 4.2.1

Ölçü meyillənmələrinin 2D üsulu ilə alınmış qiymətləri

Ölçmə yeri	Ölçmə uzunluğu, mm	Nominal ölçü, mm	Meyillənmə, mm	Nəticə	Yuxarı müsahidə, mm	Aşağı müsahidə, mm
1-ci kəsik	29.9182	30.0000	-0.0818	qəbuldur	1.0000	-1.0000
2-ci kəsik	14.4071	15.0000	-0.5929	qəbuldur	1.0000	-1.0000
3-ci kəsik	14.81	15.00	-0.19	qəbuldur	1.00	-1.00
4-ci kəsik	14.83	15.00	-0.17	qəbuldur	1.00	-1.00



Şəkil 4.2.1 2D üsulu ilə pəstahın ölçülməsi

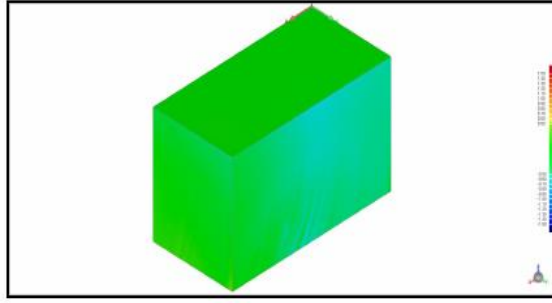
3D ölçmə proqramına əsasən təcrübədən təyin olunmuş ölçülər cədvəl 4.2.2 və şəkil 4.2.2-də verilmişdir [8, s.147-148].

Cədvəl 4.2.2

3D ölçmə proqramına əsasən təcrübədən təyin olunmuş ölçülər

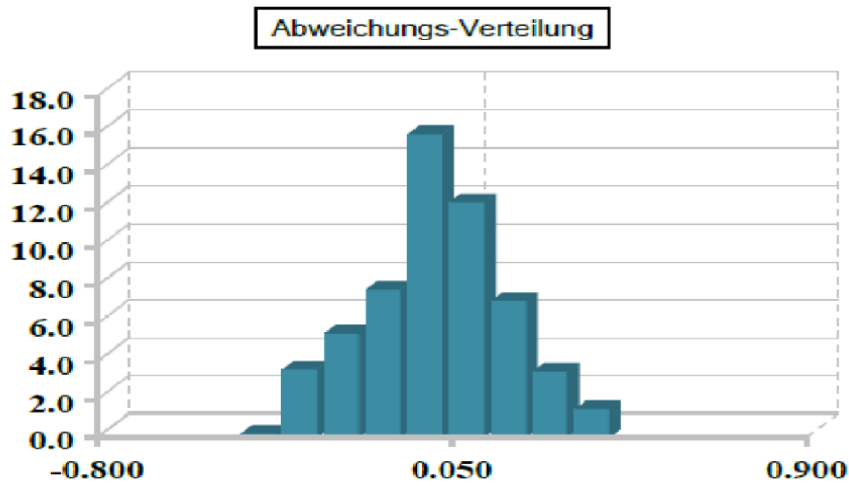
Ölçmə modeli	Kiçik kvadratlar
Yoxlama modeli	77_4-1 kbadratları
Ölçülən nöqtələrin sayı	51973
Meyillənmə tipi	3D-müşahidə
Ölçmə vahidi	mm
Max. kritik	1.50
Max. nominal	0.50
Min. nominal	-0.50
Min. kritik	-1.50
Meyillənmə	
Yuxarı max. meyllənmə	1.49
Aşağı max. meyllənmə	-1.37
Orta meyllənmə	0.16/-0.19
Standart meyllənmə	0.27

Məlumdur ki, mürəkkəb kontura malik detalların istehsalında müxtəlif formalı səthlər, o cümlədən silindrik formaya malik səthlər üstünlük təşkil edir [110, s. 59-60]. Ona görə də təcrübələrdə silindrik detalların hidroabrazivlə kəsilməsində ölçü xətlərinin öyrənilməsi aktual məsələlərdən biri hesab edilir.



Şəkil 4.2.2 3D ölçmə proqramına əsasən təcrübədən təyin olunmuş

Hidroabraziv emalda diametri 30 mm olan silindrik pəstahların kəsilməsində alınan ölçü dəqiqliyinin öyrənilməsi yerinə yetirilmişdir. 90 ədəd $\varnothing 30$ mm ölçülü dairəvi detal $S_{dairəvi} = 155 \text{ mm/dəq}$ veriş sürəti ilə kəsilmiş, yan səthindən 3.6 mm aşağıda diametr üzrə ölçü dəqiqliyi ölçü xətasının dəyişməsi $\pm 0,8$ mm götürülmüşdür. Tədqiqatların nəticəsində məlum olmuşdur ki, kəsilmiş pəstahların meyillənmələrinin böyük bir hissəsi -0,4 mm-lə +0,4 mm arasında alınır [110, s.61].
Detalların sayına və ölçü dəqiqliyinə görə paylanma diaqramı şəkil 4.2.3-də verilmişdir [110, s.61].



Şəkil.4.2.3 Detalların sayına və ölçü dəqiqliyinə görə paylanması diaqramı

Ölçmələrdən məlum olmuşdur ki, pəstahın birində ölçü dəqiqliyi -0,4 mm qədər, 4 nümunədə -0,5 mm, 6 nümunədə -0,2 mm, 9 nümunədə -0,1 mm, 17 nümunədə normal ölçü, 13 nümunədə +0,1 mm, 8 nümunədə +0,2 mm, 4 nümunədə +0,3 mm və qalan nümunələrdə +0,4 mm meyillənmələr olmuşdur.

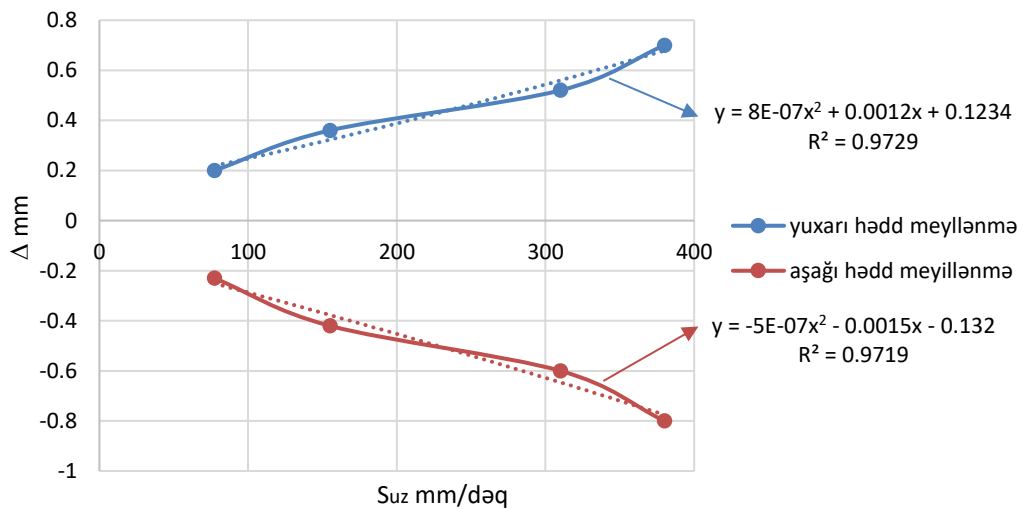
Slindrik formalı pəstahların dairəvi verişlə kəsilməsində veriş hərəkətinin ölçü dəqiqliyinə təsiri də araşdırılmışdır. Detalların aşağı və yuxarı meyillənmələrinin təcrübədən alınmış qiymətləri cədvəl 4.2.3-də verilmişdir.

Cədvəl 4.2.3

Detalların aşağı və yuxarı meyillənmələrinin təcrübədən alınmış qiymətləri

$S_{uz}, mm/dəq$	77,4	155	310	380
Δ mm, Yuxarı meyillənmə	0,2	0,36	0,52	0,7
Δ mm, Aşağı meyillənmə	-0,23	-0,42	-0,6	-0,8

Tədqiqatdan alınmış slindrik detalların yuxarı və aşağı müsaidələrinin müxtəlif dairəvi verişlərdə dəyişmə əyrisinin nəticələri qrafik 4.2.1-də verilmişdir.



Qrafik 4.2.1 Slindrik detalların yuxarı və aşağı müsaidələrinin müxtəlif dairəvi verişlərdə dəyişmə əyriləri

Eksperimental tədqiqatlar nəticəsində alınmış əyrilərin riyazi tənliyinin həlli nəticəsində meyillənmələrin aşağı həddinin ifadəsi aşağıda verilmiş tənliklə göstərmək olar.

$$\Delta = 0,132 - 0,0015S_{uz} - 0,0000005S_{uz}^2 \quad (4.2.1.)$$

Ölçü dəqiqliyinin yuxarı meyillənmələrini aşağıdakı tənliklə təyin etmək olar.

$$\Delta = 0,1234 + 0,0012S_{uz} + 0,00008S_{uz}^2 \quad (4.2.2.)$$

Detalların yuxarı və aşağı meyillənmələrinin nəzəri düsturlarla alınmış qiymətləri cədvəl 4.2.4-də göstərilmişdir.

Cədvəl 4.2.4

Detalların aşağı və yuxarı meyillənmələrinin alınmış nəzəri qiymətləri

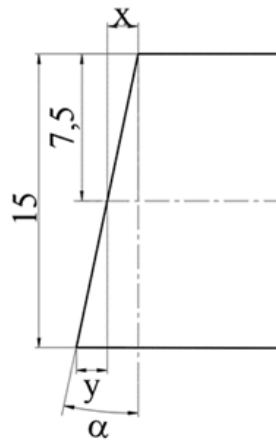
$S_{uz}, mm/dəq$	77,4	155	310	380
Δmm , Yuxarı meyillənmə	0.22	0.33	0.57	0.69
Δmm , Aşağı meyillənmə	-0.25	-0.38	-0.65	-0.77

Təcrübədən və nəzəri hesablamalardan alınmış ölçü xətasının meyillənməsi $R^2=0,9719 \div 0,9729$ arasındakı reqresiya əmsalı ilə qiymətləndirilir. Riyazi araşdırmalardan alınmış reqresiya əmsalı təcrübələrin yüksək səviyyədə olduğunu göstəricisidir.

Qrafik 4.2.1-də göstərilən 1-ci əyri pəstahın yan səthindən 2,4 mm aşağıda ölçmənin aşağı həddinin paylanması, 2-ci əyri pəstahın yan səthindən 4,8 mm aşağıda meyillənmənin yuxarı ölçüsünün paylanması ifadə edir. Qrafik 4.2.1-dən görüldüyü kimi dairəvi veriş hərəkətinin sürəti artdıqca pəstahın ölçü xətası +0,2 mm-dən +0,8 mm qədər yüksəlib. Məlum olmuşdur ki, hidroabraziv slindirlik detalların kəsilməsində pəstahın yan səthində yaranan tiyə ideal dairəvi alınmamışdır və ona görə də belə pəstahların növbəti əməliyyatla yan səthini formalaşdırırlar [110, s.61].

Yastı formaya malik detallarda hidroabrazivlə kəsmədə yaranan kəsiyin həndəsi görünüşü və eləcə də ölçü dəqiqliyi geniş tədqiq olunmuşdur. Kəsiyin həndəsi görünüşü 2D ilə ölçülmüş və koordinatları şəkil 4.2.4-də göstərilmişdir [63, s.783], [114, s.1571].

Şəkildə x-pəstahın forma ölçüsünün meyillənməsinin yuxarı həddi;



**Şəkil 4.2.4 Kəsiyin həndəsi görünüşünün 2D ilə ölçülmüş
koordinatları sxemi**

y-pəstahın forma ölçüsünün meyillənməsinin aşağı həddi;

α -hidroabrazivlə kəsilən səthin meyillənmə bucağıdır.

Kəsilən pəstahın qalınlığı 5, 10 və 15 mm götürülmüş və ölçmələrin nəticələri cədvəl 4.2.3 və cədvəl 4.2.4-də göstərilmişdir. Qalınlığı 15 mm olan pəstah boyunca 792 nöqtədə ölçmə aparılmış və məlum olmuşdur ki, aşağı səthdə meyillənmənin ən böyük qiyməti 0,13 mm, yuxarı səthdə isə 0,23 mm olmuşdur [63, s.782], [114, s.1571].

Beləliklə ümumi meyillənmə aşağıdakı kimi hesablanacaq.

$$\Delta_{\text{ümumi}} = x + y \quad (4.2.3)$$

Müəyyən edilmişdir ki, $S_{uz} = 26,7 \text{ mm/dəq}$ sürəti ilə qalınlığı 15 mm olan pəstahın ümumi xətası $\Delta_{\text{ümumi}} = 0,36 \text{ mm}$ olur. Bu hal üçün kəsilən profil bucağı aşağıdakı kimi tapılacaq.

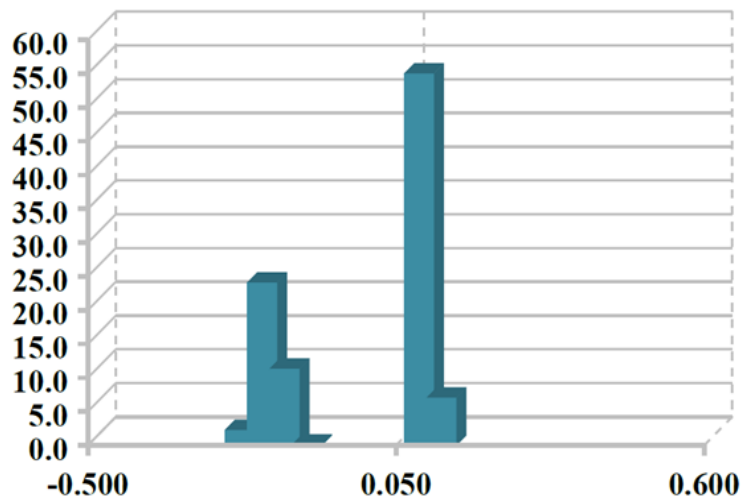
$$\text{tg } \alpha = (x + y) / h = 0,36 / 15 = 0.024 \quad (4.2.4)$$

Buradan $\alpha = 1,24^\circ$.

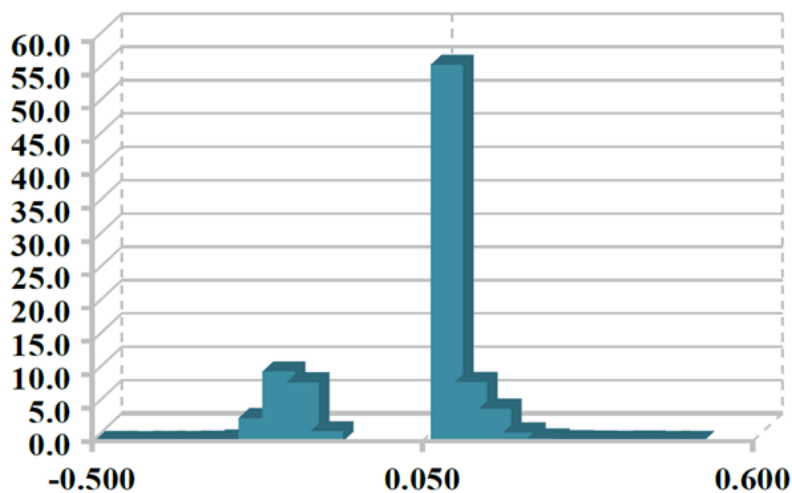
Müəyyən olunmuşdur ki, hidroabraziv kəsmədə kəsik bucaq altında formalaşır. Bucağın (α) ölçüsü kəsilən pəstahın xətti meyillənməsindən və pəstahın qalınlığından asılıdır.

Cədvəl 4.2.4-də verilmiş ölçmələrin qiymətlərinin araşdırılması göstərmişdir ki, 436 nöqtədə aparılmış ölçmələrdə meyillənmənin 55.5%-i -0,1 mm-lə +0,1 mm arasında olur.

Kəsilmiş pəstahların uzunluğunun (30 mm) hidroabraziv emalında meyillənmələrin 3D proqramı ilə ölçərək alınmış qiymətlər əsasında paylanma faizləri şəkil 4.2.5 və şəkil 4.2.6-də verilmişdir [63, s.784], [114, s.1572].



Şəkil 4.2.5 2D üzrə diaqramın faizlər üzrə dəyişməsi



Şəkil 4.2.6 3D üzrə diaqramın faizlər üzrə dəyişməsi

Müəyyən olunmuşdur ki, pəstahın ölçülərinin minimal meyillənməsi (cədvəl 4.2.5) 0,5 mm, maksimal meyillənməsi -0,5 mm arasında dəyişir. Məlum olmuşdur ki, (ölçmələr 3D üsulu ilə aparılır) 55,62% ölçülərin meyillənmələri -0,1 mm –lə +0,1 mm arasında dəyişir.

Cədvəl.4.2.5

Ölçmə nöqtələrinin verilənləri

Ölçmə modeli	Kiçik kvadratlar
Yoxlama modeli	26_7-1kvadratı
Ölçülən nöqtələrin sayı	49011
Meyillənmə tipi	3D-müşahidə
Ölçmə vahidi	mm
Max.kritik	0,50
Max.nominal.	0,10
Min nominal	-0,10
Min kritik	-0,50
Meyillənmə	
Max.yuxarı meyillənmə	1,41
Max. Aşağı meyillənmə	-1,42
Orta meyillənmə	0,09/-0,15
Standart meyillənmə	0,19

Ölçmələrin sayı və dəyişmə intervalları qalınlığı 15 mm olan pəstahlar üçün cədvəl 4.2.6-da verilmişdir. Araşdırmalar göstərmişdir ki, uzununa veriş hərəkətinin sürətinin artması ilə kəsilmiş səthin həndəsi forması müxtəlif ölçülərdə bucaq altında yerləşir.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi qalınlığı 5 və 10 mm olan pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində yan səthdə yaranan ölçü meyillənmələrinin tədqiqi nəticəsində kəsilmiş səthlərin α meyil bucaqları cədvəl 4.2.7-də verilmişdir. Məlum olmuşdur ki, 5 mm qalınlıqda pəstahı kəsdikdə veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq yan səthin meyillənmə bucağı $\alpha=1,78^\circ$ -dən $3,12^\circ$ -yə qədər dəyişir.

$S_{uz}=26,7 \text{ mm/dəq}$ -dən 91 mm/dəq -yə qədər dəyişdikdə pəstahın qalınlığı 10 mm üçün $\alpha=1,45^\circ$ -dən $2,83^\circ$ -ə qədər artır. Qalınlığı 15 mm olan pəstahı kəsdikdə isə $\alpha=1,24^\circ$ -dən $2,54^\circ$ -ə qədər artır [63, s.785], [114, s.1573].

Qalınlığı 15 mm olan pəstahlarda ölçmələrin sayı və dəyişmə intervalları

Min.	Max.	Nöqtələr	%
-0.50	-0.46	18	0.04
-0.46	-0.42	17	0.03
-0.42	-0.38	21	0.04
-0.38	-0.34	22	0.04
-0.34	-0.30	41	0.08
-0.30	-0.26	136	0.28
-0.26	-0.22	1711	3.49
-0.22	-0.18	5145	10.50
-0.18	-0.14	4352	8,88
-0.14	-0.10	744	1,52
-0.10	0.10	27700	56,62
0.10	0.14	4367	8,91
0.14	0.18	2404	4,91
0.18	0.22	654	1,33
0.22	0.26	219	0,45
0.26	0.30	92	0,19
0.30	0.34	63	0,13
0.34	0.38	51	0,10
0.38	0.42	52	0,11
0.42	0.46	30	0,06
0.46	0.50	35	0,07
Yuxarı kritik dəyərdən yuxarı		598	1,22
Yuxarı kritik dəyərdən aşağı		539	1,10

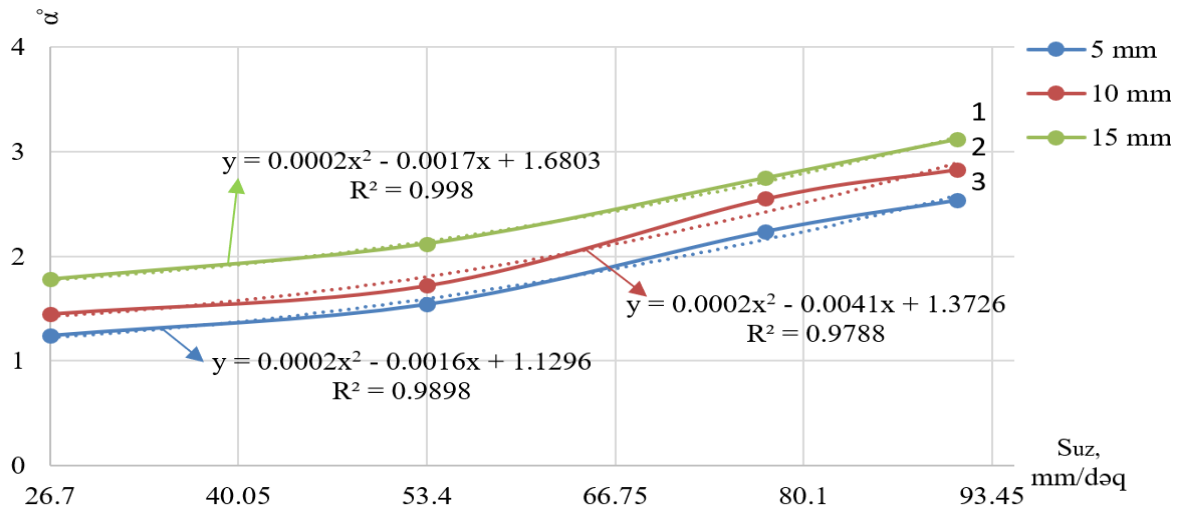
Alınmış eksperimentlərin nəticələri cədvəl 4.2.7 və qrafik 4.2.2-də verilmişdir

Cədvəl 4.2.7.

**Veriş hərəkəti sürətinin pəstahın yan səthində yaranan təcrübi
meyillənmə bucaqlarının (α) qiymətləri**

$S_{uz}, mm/dəq$	26.7	53.4	77.4	91
$\alpha^{\circ}(h=5 \text{ mm})$	1.24	1.54	2.24	2.54
$\alpha^{\circ}(h=10 \text{ mm})$	1.45	1.72	2.55	2.83
$\alpha^{\circ}(h=15 \text{ mm})$	1.78	2.12	2.75	3.12

Qrafik 4.2.2-də veriş hərəkəti sürətinin pəstahın yan səthində yaranan meyillənmə bucağı (α) göstərilir.



Qrafik 4.2.2 Veriş hərəkəti sürətinin qalınlığı 5, 10 və 15 mm olan pəstahın yan səthində yaranan meyilliyinə (α) təsiri qrafiki

Təcrübələrdən alınmış qrafiklərin riyazi asılılıqlarının həlli müəyyən etmişdir ki, hidroabraziv kəsmədə səthin qalınlığından və uzununa verişin dəyişmə həddindən asılı olaraq aşağıdakı tənliklərlə ifadə etmək olar.

$$\begin{aligned}
 \alpha_5 &= 1,6803 - 0,0017S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 \\
 \alpha_{10} &= 1,3726 - 0,0041S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2 \\
 \alpha_{15} &= 1,1296 - 0,0016S_{uz} + 0,0002S_{uz}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.2.5}$$

Veriş hərəkəti sürətinin pəstahın yan səthində yaranan nəzəri meyilliyinə (α) təsirinin qiymətləri cədvəl 4.2.8-də verilmişdir.

Cədvəl 4.2.8

Veriş hərəkəti sürətinin pəstahın yan səthində yaranan nəzəri meyilliyinə (α) təsiri

S_{uz} mm/dəq	26.7	53.4	77.4	91
α °(h=5 mm)	1.82	2,19	2.86	3,21
α °(h=10mm)	1.41	1.72	2.25	2.66
α °(h=15mm)	1.23	1.61	2.20	2.64

Qalınlığı 15 mm olan pəstahın hidroabrazivlə kəsilməsində kəsiyin səthinin meyillənməsi 4.2.2 düsturuna əsasən hesablanaraq qiymətləri qrafik 4.2.2-də verilir. Buradan görmək olur ki, $S_{uz}=26,7 \text{ mm/dəq}$ olduqda $\alpha=1,24^\circ$, $S_{uz}=53,4 \text{ mm/dəq}$ olduqda $\alpha=1,54^\circ$, $S_{uz}=77,4 \text{ mm/dəq}$ olduqda $\alpha=2,24^\circ$, $S_{uz}=91 \text{ mm/dəq}$ olduqda $\alpha=2,54^\circ$ olur [63, s. 785].

Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, pəstahın qalınlığı artdıqca hidroabraziv emalda kəsilən səthin yaranan konusluğu, yəni meyillənmə bucağı kiçilir. Ona görə də hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsində yaranan səthin meyl bucağını, yəni konusluğunu azaltmaq üçün yeni texnoloji prosesin işlənməsi çox vacibdir. Kəsilən səthin perpendikulyarlığını təmin etməklə növbəti əməliyyatları aradan qaldırmaq olar.

Beləliklə, müəyyən olunmuşdur ki, hidroabraziv kəsmə üsulunda uzununa verişin, eləcə də digər texnoloji parametrlərin emal olunan pəstahın forma dəqiqliyinə təsirini öyrənməklə hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsinin yeni texnologiyasını işləmək və layihələndirmək lazımdır.

Qrafik 4.2.2-dən görüldüyü kimi reqresiya əmsalı $R^2=0,9788\div 0,998$ arasında dəyişir.

4.3. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində səthdə formalaşan bərkliyin tədqiqi

Xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində emal olunan metalın fiziki-mexaniki xassələrindən, o cümlədən bərkliyindən asılı olaraq kəsilən səthdə bərkliyin dəyişməsi baş verir. Bərkliyin dəyişmə istiqamətindən, ədədi ölçüsündən irəli gələn bir çox fiziki proseslərin, yəni yeyilməyə davamlılığın, sürtünmə intensivliyinin dəyişməsi, korroziya dərəcəsi və s. amillərin intensivləşməsinə gətirib çıxarır. Bu səbəbdən Avropa ölkələrində, xüsusi ilə Almaniyada HARDOX-500 markalı xrom-nikelli tərkibli yeni poladlardan müxtəlif maşın hissələri hazırlandıqda mexaniki

emalın poladın bərkliyinə təsirinə xüsusi əhəmiyyət verilir. Bu xrom-nikel tərkibli polad markasının digər oxşar poladlardan fərqli cəhəti ondan ibarətdir ki, HARDOX-500 poladının əyilməyə, qaynaqlanmaya və yeyilməyə qarşı yüksək dayanıqlığa malikdir. Bu poladların nominal bərkliyi 500 HBW olduğu üçün yeyilməyə qarşı yüksək dayanıqlıdır. Ona görə də, bu poladdan hazırlanan maşın hissələri yüksək yüklənmə qabiliyyətini saxlamaqla yanaşı, poladın mexaniki emal olunma qabiliyyətini qoruyub saxlaya bilir [4, s.439].

Bununla yanaşı qeyd etmək lazımdır ki, sənayedə mövcud olan və mexaniki emala çətin uğrayan xrom-nikelli poladlar kimi HARDOX-500 markalı poladın da kəsilməsi, burğulanması və frezlənməsində bir sıra texnoloji problemlər meydana çıxır. Aparılmış tədqiqatlardan məlumdur ki, xrom-nikelli polad pəstahların mexaniki doqrama əməliyyatının yerinə yetirilməsi prosesini hidroabraziv kəsmə üsulundan istifadə etməklə aparılması maşın hissələrinin istehsalının məhsuldarlığının və səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır. Su təzyiqi ilə emalda pəstahların kəsilməsində tətbiq edilən mexaniki kəsmə prosesi təmiz su axınına paralel birləşdirilmiş xətlə abraziv kəsici dənələrinin pəstahın səthinə yüksək təzyiq və sürətlə vurulması hesabına yerinə yetirilir [117, s.175-177], [111, s.26], [112, s.179], [63, s.781], [5, s.47], [61, s.53], [97, s.148], [121, s.271-273], [56, s.11].

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, su təzyiqi ilə abraziv qarışığının tətbiqi polad pəstahların doqranmasında yonqarəmələgəlmə və onların kəsmə zonasından kənarlaşdırılması abraziv dənələrinin zərbələri ilə müşahidə olunur. Abraziv dənələrinin kəsilən səthə zərbəli təsiri nəticəsində yonqarəmələgəlmədə plastiki deformasiyaların yaranmasına və kəsilən poladın bərkliyinin qiymətinin dəyişməsinə səbəb olur. Pəstahların hidroabrazivlə doqranmasında bərkliyin qiymətlərinin dəyişməsinin araşdırılması maşınqayırmanın aktual problemlərdəndir [5, s.47]. Belə ki, metalların doqranmasında kəsilən səthin bərkliyinin dəyişməsi aparılacaq sonrakı mexaniki əməliyyatların ardıcılığına və texnoloji imkanlarına təsir göstərir. Qeyd edilənləri nəzərə alaraq, HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə doqranmasında kəsilən səthdə bərkliyin kəsmə rejimlərindən asılılığının araşdırılması tədqiqatların əsas məsələlərindəndir.

Maşın hissələrinin pəstahlarının kəsilməsində səthdə yaranan bərkliyin dəyişməsinin kəsmə rejim elementlərindən, yəni su şırnağı ilə abrazivin kontakt zonasına verilmə sürətindən və təzyiqi 3500 bar götürməklə kəsmədə uzununa veriş hərəkətinin sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq araşdırılması problemləri qarşıda duran əhəmiyyətli məsələlərdən biri hesab edilir.

Bu məqsədlə xrom-nikelli HARDOX-500 markalı poladdan FLOW-Cut markalı hidroabraziv RPI dəzgahında hazırlanan, qalınlığı 15 mm olan pəstahın HECKERT modeli cihazla müxtəlif nöqtələrdə bərkliyi tədqiq olunmuşdur.

Tədqiqatlar kəsmə (doğrama) əməliyyatında qalınlığı 15 mm olan pəstahlardan istifadə etməklə aparılmışdır. HARDOX-500 markalı poladın hidroabraziv emaldan əvvəl, sonra və hidroabraziv emaldan sonra paradaqladıqdan sonra səthinin bərkliyi HECKERT cihazı vasitəsi ilə ölçülmüşdür [64, s.19]. Ölçmə cihazı müvafiq kompüter proqramı ilə təchiz olunmuş və ölçmə əməliyyatı bu proqramdan istifadə olunmaqla avtomatik hesablanıb müvafiq cədvəl və qrafiklər qurulmuşdur. İşlənmiş metododikaya əsasən, ilkin olaraq, pəstahın üz səthi dənəvəriliyi K60 olan abraziv dairəsi ilə, bundan sonra isə həmin səth yenidən dənəvəriliyi K120 abraziv dairəsi ilə təmiz rejimlə paradaqlanmış və orada yaranan bərkliklər hər iki mərhələdə təyin edilmişdir. Eləcə də, həmin pəstahın hidroabrazivlə kəsilən səthində və hidroabraziv kəsmədən sonra həmin səthi dənəvəriliyi K120 olan abraziv dairəsi ilə paradaqladıqdan sonra bərklikləri ölçülmüşdür. Təcrübələr uzununa verişin müxtəlif qiymətlərində: $S_{uz}=26,7$ mm/dəq; $S_{uz}=53,4$ mm/dəq; $S_{uz}=77,4$ mm/dəq və $S_{uz}=91$ mm/dəq sürətlərdə doğranmış pəstahlar üzərində aparılaraq bərkliyin emal olunmuş səthdə yaranması araşdırılmışdır [8, s.147].

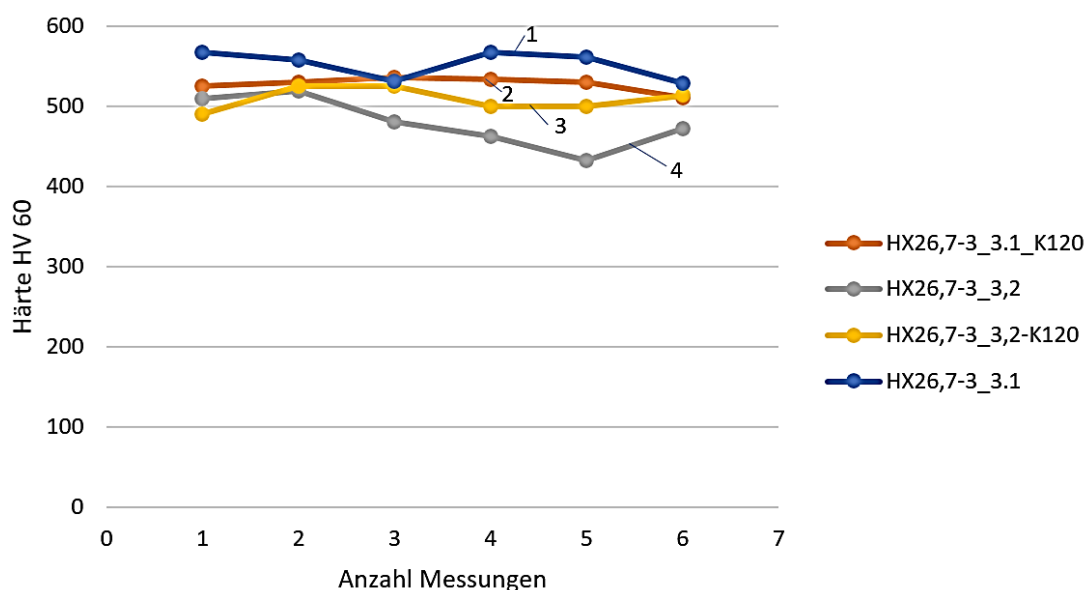
Pəstahın ilkin halında üzərində olan bərkliyin ölçülməsi göstərmişdir ki, onun səthi abraziv dairəsi ilə təmizlənildikdən sonra altı müxtəlif nöqtələrdə alınmış bərkliyin qiymətləri HV üzrə 432÷520 arasında dəyişir. Pəstahın materialının hidroabrziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 26,7 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra qiymətləri cədvəl 4.3.1-də nümunələrdə və qrafik 4.3.1-də əyri 1; 2; 3 və 4-də verilmişdir [3, s.31].

Cədvəl 4.3.1

Pəstahın materialının hidroabrziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 26,7 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra bərkliyin qiymətləri

Sıra	Bərklik	Sifariş qəbulu	Nümunənin adı	d1	d2	dm	sıra	Metod
1	568	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	433,804993	451,343994	442,574005	1	HV 60
2	558	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	441,726013	451,201996	446,463989	2	HV 60
3	531	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	463,790985	452,050995	457,92099	3	HV 60
4	568	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	444,696014	440,170013	442,433014	4	HV 60
5	562	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	445,968994	443,705994	444,837006	5	HV 60
6	529	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1	454,880005	461,951996	458,415985	6	HV 60
1	525	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	460,678986	459,971985	460,325012	1	HV 60
2	530	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	449,645996	467,044006	458,345001	2	HV 60
3	536	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	453,464996	457,425995	455,446014	3	HV 60
4	534	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	454,031006	458,981995	456,506012	4	HV 60
5	530	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	465,488007	450,919006	458,20401	5	HV 60
6	511	Hadox Amirli	HX26,7-3_3.1_K120	465,204987	467,891998	466,549011	6	HV 60
1	510	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	472,842987	461,528015	467,184998	1	HV 60
2	520	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	461,951996	462,941986	462,446991	2	HV 60
3	481	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	477,227997	484,44101	480,834991	3	HV 60
4	463	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	497,45401	483,309998	490,381989	4	HV 60
5	432	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	512,02301	503,394989	507,709015	5	HV 60
6	472	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2	483,450989	487,411987	485,431	6	HV 60
1	490	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	483,875	468,882996	476,378998	1	HV 60
2	525	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	463,648987	457,001007	460,325012	2	HV 60
3	526	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	462,800995	457,425995	460,113007	3	HV 60
4	500	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	472,135986	471,145996	471,640991	4	HV 60
5	500	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	469,730988	474,115997	471,924011	5	HV 60
6	514	Hadox Amirli	HX26,7-3_3,2-K120	462,658997	468,033997	465,346985	6	HV 60

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, pəstahın səthini iki müxtəlif üsulla paradaqladıqdan sonra orada yaranan bərklik bir-birindən xeyli fərqlənir. Pəstahın səthi K120 abraziv dairəsi ilə paradaqlandıqdan sonra xrom-nikelli poladın bərkliyi 50-70 vahid artmışdır (qrafik 4.3.1, əyri 3). Pəstahın paradaqlanması nəticəsində bərkliyin yüksəlməsinin səbəbi paradaqlanmış səthə abraziv dənələrinin yonqarəmələgəlmədə yaratdıqları plastiki deformasiyanın və yüksək temperaturun təsiridir. Məlumdur ki, paradaqlama prosesində abraziv dənələri qalınlığı mikronlarla ölçülən yonqarların yaranmasına səbəb olur. Belə şəraitdə emal olunan səthdə sürtünmə, plastiki



Qrafik 4.3.1 HARDOX-500 markalı polad materialının uzununa verişin 26,7 mm/dəq sürətində emalda bərkliyin dəyişmə əyriləri
 1-emaldan sonra , 2-emaldan sonrakı paradaqlama, 3-materialın paradaqlamadan sonra , 4-materialın ilk vəziyyətdə bərkliyi

deformasiyaların paylanması və s. fiziki hadisələr emal olunan səthin fiziki xassələrinin dəyişməsinə gətirib çıxarır, yəni onun bərkliyinin dəyişməsinə səbəb olur. Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə doqranması nəticəsində kəsilmiş səthdə bərklik materialın ilkin bərkliyindən 80-100 vahid çox olur. Məsələn qrafik 4.3.1-də 4 əyrisi pəstahın 6 müxtəlif nöqtədə ilkin bərkliyinin, 1 əyrisi isə hidroabrazivlə kəsilmiş səthin 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyinin dəyişməsinə göstərir. Bu onunla izah olunur ki, hidroabrazivlə kəsmədə (qrafik 4.3.1-də verilmiş nəticələr su şırnağının abrazivlə birlikdə təzyiqi 3500 bar, uzununa veriş hərəkətinin sürəti $S_{uz}=26,7$ mm/dəq götürülmüşdür) pəstahın səthinə yönəlmiş abraziv dənələri çox yüksək sürət və təzyiq altında orada böyük zərbə qüvvələri yaradır ki, bununda təsirindən hidroabrazivlə kəsilmiş səthdə döyənəkləmə baş verir və yonqarəmələgəlmə yüksək plastiki deformasiya şəraitində gedir. Eləcə də, hidroabrazivlə kəsmə prosesində emal olunan səthdə su şırnağının böyük həcmdə axması hesabına kontakt zonasında temperatur kiçik həcmdə olur, yəni plastiki deformasiyalar yonqarəmələgəlmədə soyuq halında gedir.

Bəzi hallarda pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsi zamanı yaranmış yeni səthlərin kələ-kötürlüyü, forma xətalı kəfayət qədər hissəyə qoyulmuş ümumi tələblərdən kənara çıxır. Ona görə də hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin pardaqlanması texnoloji əməliyyatının aparılmasını labüd edir. Bu baxımdan aparılmış tədqiqatların bir istiqaməti hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin pardaqlanmasında yaranan bərkliyin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Qrafik 4.3.1-də verilmiş 2 əyrisi HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladın hidroabrazivlə kəsilmiş səthinin K120 abraziv dairəsi ilə uzununa verişin qiyməti $S_{uz}=120$ mm/dəq, kəsmə dərinliyi 0,005 mm, abraziv dairəsinin sürəti $v_d=30$ m/san emaldan sonra alınan bərkliklə pəstahın 6 müxtəlif nöqtələrində ölçülərək göstərilmişdir. Qrafik 4.3.1-dən göründüyü kimi hidroabrazivlə kəsilmiş səthin bərkliyi (qrafik 4.3.1, əyri 1) pardaqlanmış səthə nisbətən 40-50 vahid yüksəkdir. Belə səthi pardaqladıqda isə bərkliyin 40-50 vahid azalması onunla izah edilir ki, pardaqlama zamanı yonqarəmələgəlmədə kontakt zonasında yüksək temperatur yaranır, bəzən pardaqlanan səthdə temperatur 1100-1300 °S-yə qədər yüksəlir, bunun nəticəsində hidroabrazivlə kəsilmiş səthin bərkliyin aşağı düşməsi müşahidə olunur [3, s.30-32]. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli polad pəstahların hidroabrazivlə doqranması prosesində kəsmə rejimi elementlərini, yəni uzununa kəsmə sürətinin materialın bərkliyinə təsiri ekspremental təcrübələrlə öyrənilərək alınmış nəticələr şəkil 4.3.1-də verilmişdir. Hər rejimlər üçün bərklik 6 müxtəlif nöqtələrdə ölçülərək orta qiymətləri tapılaraq əyrilər üzərində verilmişdir.

Tədqiqatlar uzununa verişin digər qiymətlərindədə aparmaqla bərkliyin kəsilən səthdə paylanması öyrənilmişdir. $S_{uz}=53,4$ mm/dəq sürətlə kəsilən pəstahın görünüşü şəkil 4.3.1-də verilmişdir [4, s.440].

Xrom-nikel tərkibli HARDOX-500 materialı yüksək bərkliyə və möhkəmliyə malik olduğu üçün suyun tərkibinə kəsmə zamanı abraziv dənələri intensiv qarışdırılaraq verilir [4, s.440].

Bərkliyin ölçülməsi zamanı 1 mm məsafədə uclugun xətası olduğuna görə səthin vəziyyətini qiymətləndirmədə nəzərə alınmır. Kəsmə zamanı veriş sürəti artdıqca səthdə xəta yaranır, perpendikiulyarlıq pozulur.



Şəkil 4.3.1 Ölçüləri 30 x 20 x 15 mm olan, HARDOX 500 materialından müxtəlif kəsmə sürətlərində ($S_{uz}=53,4$ mm/dəq) hidroabraziv RPI dəzgahında emal olunan pəstahlar [4, s.440]

Məlum metodla HARDOX-500 markalı poladdan hazırlanan, ölçüləri 30x20x15 mm olan müstəvi tip pəstahı 3500 bar təzyiqi ilə hidroabrazivlə kəsiddikdən və həmin kəsilmiş səthin K120 pardaq dairəsi vasitəsilə su ilə soyutmaqla paradaqladıqdan sonra müxtəlif 6 nöqtədə bərkliyi ölçülmüşdür. Belə ki, hidroabraziv kəsmə zamanı dəzgahda 2-ci veriş sürəti $S_{uz}=53,4$ mm/dəq olmuşdur.

Pəstahın materialının hidroabraziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 53,4 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra qiymətləri cədvəl 4.3.2-də nümunələrdə və qrafik 4.3.2-də əyri 1; 2; 3 və 4-də verilmişdir [4, s.443]. Cədvəl 4.3.2-də ardıcıl olaraq bərkliyin nömrəsi, tapşırıqın və nümunənin adı, pəstahın səthinin 1-ci və 2-ci diaqonal üzrə uzunluğu və bərkliyi verilmişdir. d_1 - 1-ci diaqonalın ölçmə izinin uzunluğu, d_2 - 2-ci diaqonalın ölçmə izinin uzunluğu, d_m -diaqonalların orta qiymətidir. HARDOX 500 materialından hidroabraziv RPI dəzgahında hazırlanan, uzunluğu 30 mm, eni 20 mm və hündürlüyü 15 mm olan, $S_{uz}=53,4$ mm/dəq sürətlə kəsilən pəstahın hidroabrazivlə kəsilən və kəsilməyən səthlərinin müxtəlif nöqtələrdə bərkliyi və kəsilən və kəsilməyən səthlərin K120 pardaq dairəsi ilə PHOENIX 4000 pardaq dəzgahında su ilə soyutmaqla paradaqladıqdan sonra yenidən 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyi

Bərkliyin ölçülməsi üzrə alınmış qiymətlər

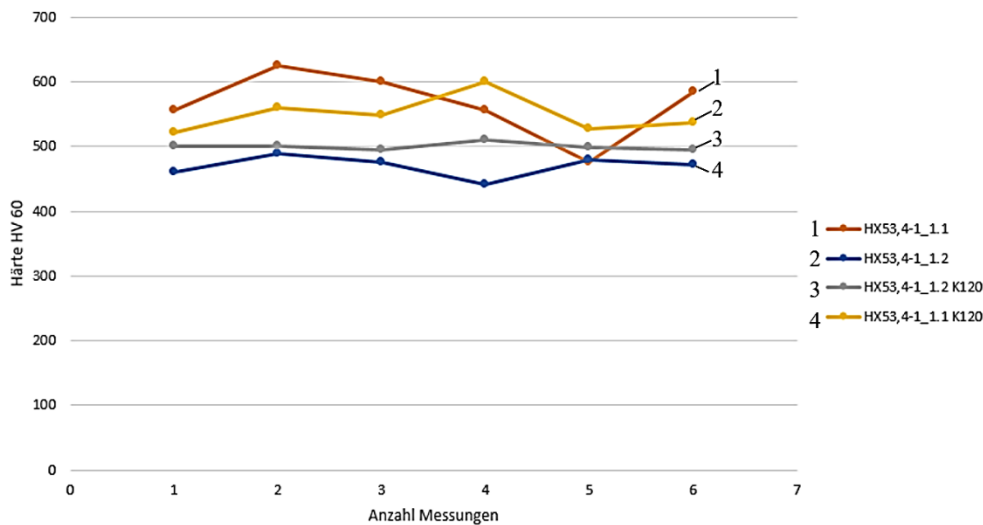
Sıra	Bərklik	Sifariş qəbulu	Nümunənin adı	d1	d2	dm	sıra	Metod
1	557	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	467,75101	426,026	446,888	1	HV 60
2	625	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	411,03299	432,673	421,853	2	HV 60
3	601	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	429,27899	431,54199	430,41	3	HV 60
4	556	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	450,91901	443,70599	447,31299	4	HV 60
5	475	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	474,965	493,069	484,017	5	HV 60
6	585	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1	445,12	426,87399	435,99701	6	HV 60
1	461	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	485,573	497,03	491,30099	1	HV 60
2	490	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	482,74399	470,57999	476,66199	2	HV 60
3	475	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	486,13901	481,89499	484,017	3	HV 60
4	441	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	494,05899	510,46701	502,263	4	HV 60
5	479	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	474,54001	488,96701	481,754	5	HV 60
6	473	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2	486,84601	486,168	485,00699	6	HV 60
1	500	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	476,80301	466,76099	471,78201	1	HV 60
2	501	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	478,21799	463,93201	471,07501	2	HV 60
3	496	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	472,03699	464,78101	473,409	3	HV 60
4	511	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	469,59	463,79099	466,69	4	HV 60
5	498	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	471,42899	473,83301	472,63101	5	HV 60
6	496	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.2 K120	477,935	469,448	473,69199	6	HV 60
1	522	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	464,07401	458,98199	461,52802	1	HV 60
2	561	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	441,58401	449,36301	445,474	2	HV 60
3	549	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	453,60699	446,535	450,07101	3	HV 60
4	600	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	438,897	422,34799	430,62201	4	HV 60
5	528	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	460,255	457,991	459,12299	5	HV 60
6	538	Hadox Amirli	HX53,4-1_1.1 K120	454,50698	454,88	454,73801	6	HV 60

HV60 (Vickers) üzrə HECKERT cihazı vastəsilə ölçülmüş və həmin ölçülər qrafik 4.3.2-də müxtəli rənglərlə verilmişdir [4, s.440].

Daha sonra pəstahın hidroabrazivlə kəsilmiş səthinin bərkliyi 6 müxtəlif nöqtədə və hidroabrazivlə kəsilmiş səthi K120 pardağ dairəsi ilə PHOENIX 4000 pardağ dəzgahında su ilə soyutmaqla pardaqlandıqdan sonra yenidən 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyi HV60 (Vickers) üzrə HECKERT cihazı vastəsilə ölçülür.

HECKERT cihazı vastəsilə müəyyən edilmişdir ki, ilk olaraq pəstahın hidroabrazivlə kəsilməyən səthinin boyası pardağ kağızı vasitəsilə təmizləndikdən

sonra 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyin qiyməti HV 60 (Vickers) üzrə ölçülərkən 441-490 vahid arasında dəyişmiş və cədvəl 4.3.2-də HX53,4-1_1.2 sütununda verilmişdir.



Qrafik 4.3.2 HARDOX-500 markalı polad materialının uzununa verişin 53,4 mm/dəq sürətində emalda bərkliyin

Qrafik 4.3.2-də pəstahın müxtəlif səthlərinin bərklikləri seçilərək aşağıdakı qaydada verilmişdir.

1. HX53,4-1_1.1- hidroabrazivlə kəsilən səthin bərkliyi;
2. HX53,4-1_1.1K120- hidroabrazivlə kəsilən səthin K120 pardaq dairəsi ilə pardaqlamadan sonra bərkliyi;
3. HX53,4-1_1.2 K 120-pəstahın səthinin K120 pardaq dairəsi ilə pardaqlamadan sonra bərkliyi;
4. HX53,4-1_1.2-pəstahın bərkliyi;

Həmçinin həmin səth daha sonra K120 pardaq dairəsi ilə PHOENIX 4000 pardaq dəzgahında su ilə soyutmaqla pardaqlandıqdan sonra yenidən 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyi HV60 (Vickers) üzrə ölçülərkən 496 - 511 vahid arasında dəyişmiş və cədvəl 4.3.2- də HX53,4-1_1.2.K120 sütununda verilmişdir.

Növbəti mərhələdə pəstahın hidroabrazivlə kəsilmiş səthinin bərkliyi 6 müxtəlif nöqtədə HV 60 (Vickers) üzrə ölçülərkən 475-625 vahid arasında dəyişmiş və cədvəl 4.3.2-də HX53,4-1_1.1. sütununda verilmişdir. Həmçinin pəstahın hidroabrazivlə kəsilmiş səthini daha sonra K120 pardaq dairəsi ilə PHOENIX 4000 pardaq

dəzgahında su ilə soyutmaqla paradaqlandıqdan sonra yenidən 6 müxtəlif nöqtədə bərkliyin qiyməti HV60 (Vickers) üzrə ölçüllərkən 522 - 600 vahid arasında dəyişmiş və cədvəl 4.3.2-də HX53,4-1_1.1.K120 sütununda verilmişdir.

Beləliklə, HARDOX 500 materialından FLOW-Cut markalı hidroabraziv RPI dəzgahında hazırlanan, uzunluğu 30 mm, eni 20 mm və hündürlüyü 15 mm olan, $S_{uz}=53,4$ mm/dəq sürətlə kəsilən pəstahın hidroabrazivlə kəsilən və kəsilməyən səthlərinin müxtəlif nöqtələrdə bərkliyi HECKERT modeli cihazla ölçülmüşdür və bərklik üzrə aparılmış ölçmələr müvafiq cədvəllərdə verilmişdir.

Hidroabraziv emalda uzununa veriş hərəkətinin artırılması ilə HARDOX-500 poladında səthdə bərkliyin paylanması qanuna uyğunluğunun öyrənilməsi $S_{uz}=77,4$ mm/dəq və $S_{uz}=91$ mm/dəq uzununa verişlərində öyrənilmişdir [115, s.328].

Pəstahın materialının hidroabraziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 77,4 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra bərkliyinin qiymətləri cədvəl 4.3.3-də nümunələrdə və qrafik 4.3.3-də əyri 1; 2; 3 və 4-də verilmişdir [5, s.49].

Cədvəl 4.3.3

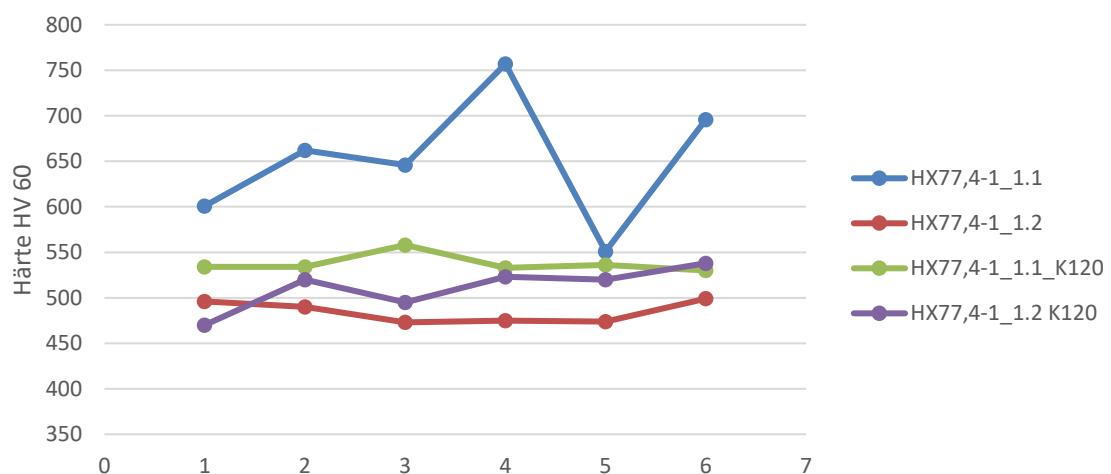
Pəstahın materialının hidroabraziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 77,4 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra bərkliyinin qiymətləri

Sıra	Bərklik	Sifariş qəbulu	Nümunənin adı	d1	d2	dm	sıra	Metod
1	601	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	430,269012	429,985992	430,127014	1	HV 60
2	662	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	428,006012	392,07901	410,041992	2	HV 60
3	646	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	407,355011	422,489014	414,921997	3	HV 60
4	757	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	387,411987	379,208008	383,309998	4	HV 60
5	551	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	446,393005	452,334015	449,363007	5	HV 60
6	696	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1	397,312988	402,122009	399,71701	6	HV 60
1	496	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	473,973999	473,266998	473,621002	1	HV 60
2	490	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	457,990997	495,049011	476,520996	2	HV 60
3	473	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	480,197998	489,391998	484,795013	3	HV 60
4	475	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	493,35199	474,115997	483,734009	4	HV 60
5	474	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	486,562988	482,602997	484,583008	5	HV 60
6	499	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2	454,455994	490,240997	472,347992	6	HV 60
1	534	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	453,606995	459,264008	456,436005	1	HV 60
2	534	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	455,587006	457,709015	456,64801	2	HV 60
3	558	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	460,678986	432,390015	446,535004	3	HV 60
4	533	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	457,990997	456,153015	457,071991	4	HV 60

5	536	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	453,182007	457,850006	455,515991	5	HV 60
6	530	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.1_K120	463,225006	453,040985	458,132996	6	HV 60
1	470	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	471,570007	501,696991	486,634003	1	HV 60
2	520	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	468,033997	457,425995	462,730011	2	HV 60
3	495	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	481,894989	465,911987	473,903992	3	HV 60
4	523	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	466,195007	456,576996	461,385986	4	HV 60
5	520	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	459,546997	465,346985	462,446991	5	HV 60
6	538	Hadox Amirli	HX77,4-1_1.2 K120	451,201996	458,415985	454,80899	6	HV 60

Təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, uzununa verişin $S_{uz}=77,4$ mm/dəq qədər yüksəlməsi nəticəsində hidroabrazivlə kəsmədə və digər texnoloji hazırlıq üsullarında səthin bərkliyi 35÷50 vahid 53,4 mm/dəq sürətinə nisbətən yüksəlir. Bu da onunla izah edilir ki, veriş hərəkətinin artması ilə kəsilən yonqarın həndəsi ölçüləri böyüyür, məhz bu səbəbdən yonqarəmələgəlmədə yaranan plastik deformasiyanın həcmi və qiyməti yüksəlir. Ona görə də emal olunmuş səthdə bərklik qismən artmış olur. Səthin mikrobərkliyinin yüksəlməsi istehsal olunan maşın hissəsinin yeyilməyə davamlılığının yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

Qrafik 4.3.3-də uzununa veriş hərəkətinin $S_{uz}=77,4$ mm/dəq sürətində alınmış nöqtələr üzrə bərkliyin qiymətlərinin dəyişməsi verilmişdir. Qrafikdən göründüyü kimi texnoloji üsulların bütün hallarında bərkliklər bir-birindən fərqlənirlər.



Qrafik 4.3.3. HARDOX-500 markalı polad materialının uzununa verişin 77,4 mm/dəq sürətində emalda bərkliyin dəyişmə ayrılırları

Məlumdur ki, HARDOX-500 markalı xrom-nikelli poladları $S_{uz}=91$ mm/dəq sürəti ilə hidroabraziv üsulla kəsməklə səthdə yaranan bərklik tədqiq olunmuşdur.

Pəstahın materialının hidroabraziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 91 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra bərkliyinin qiymətləri cədvəli 4.3.4-də və qrafik 4.3.4-də [64, s.19] verilmişdir.

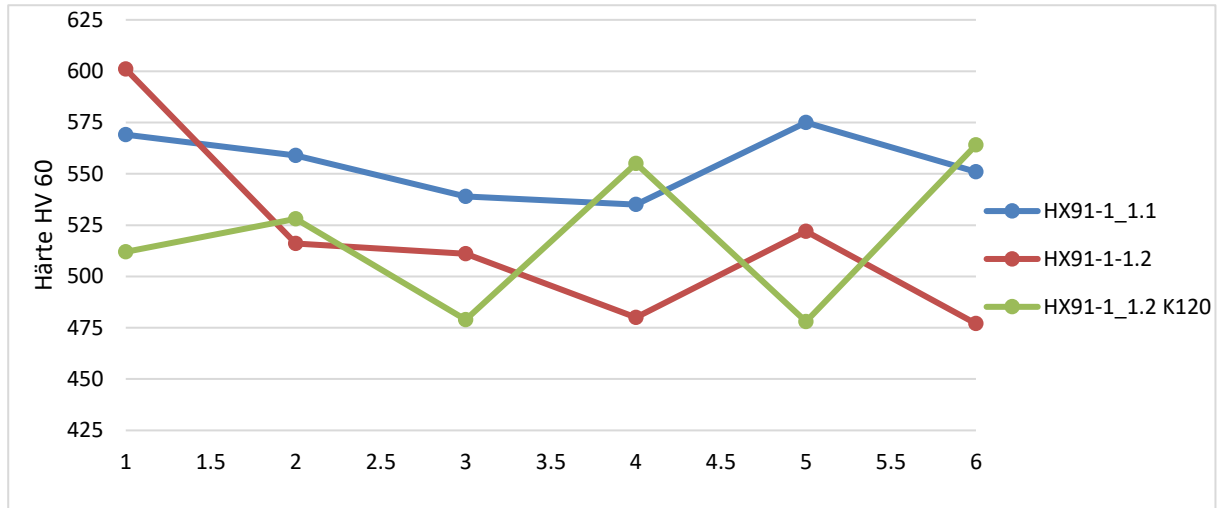
Cədvəl 4.3.4.

Pəstahın materialının hidroabraziv emaldan əvvəl, uzununa verişin 91 mm/dəq sürətində emaldan və paradaqlamadan sonra bərkliyinin qiymətləri

Sıra	Bərklik	Sifariş qəbulu	Nümunənin adı	d1	d2	dm	sıra	Metod
1	569	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	440,170013	444,130005	442,149994	1	HV60
2	559	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	443,989014	448,515015	446,252014	2	HV60
3	539	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	458,557007	449,928986	454,243011	3	HV60
4	535	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	455,303986	456,859985	456,082001	4	HV60
5	575	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	424,470001	455,446014	439,958008	5	HV60
6	551	HadoxAmirli	HX91-1_1.1	466,337006	432,673004	449,505005	6	HV60
1	601	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	425,177002	435,502014	430,339996	1	HV60
2	516	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	465,346985	463,225006	464,286011	2	HV60
3	511	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	466,337006	466,760986	466,549011	3	HV60
4	480	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	485,006989	478,217987	481,612	4	HV60
5	522	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	456,153015	467,467987	461,809998	5	HV60
6	477	HadoxAmirli	HX91-1-1.2	495,332001	470,296997	482,815002	6	HV60
1	512	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	463,790985	468,740997	466,265991	1	HV60
2	528	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	458,132996	459,546997	458,839996	2	HV60
3	479	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	478,783997	485,006988	481,894989	3	HV60
4	555	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	449,080994	446,109985	447,595001	4	HV60
5	478	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	472,419006	492,503998	482,460999	5	HV60
6	564	HadoxAmirli	HX911_1.2K120	445,403015	442,574005	443,989014	6	HV60

Alınmış nəticələr göstərir ki, $S_{uz}=91$ mm/dəq sürəti ilə hidroabraziv kəsmədə səthdə yaranan bərklik $S_{uz}=77,4$ mm/dəq sürətində alınan bərkliyə yaxın olur. Bu onunla izah edilir ki, uzununa verişin yuxarı hədlərində bərkliyin dəyişmə ehtimalı ləngiyir.

Qrafik 4.3.4-də uzununa verişin $S_{uz}=91$ mm/dəq sürətində alınmış bərkliklərin paylanması verilmişdir. Qrafiklərdən müşahidə olar ki, 6 müxtəlif nöqtələrdə ölçülmüş bərkliklər müxtəlif texnoloji üsulla alınmış səthlər üçün kiçik ölçü intervalı daxilində dəyişməsi baş verir [64, s.20].



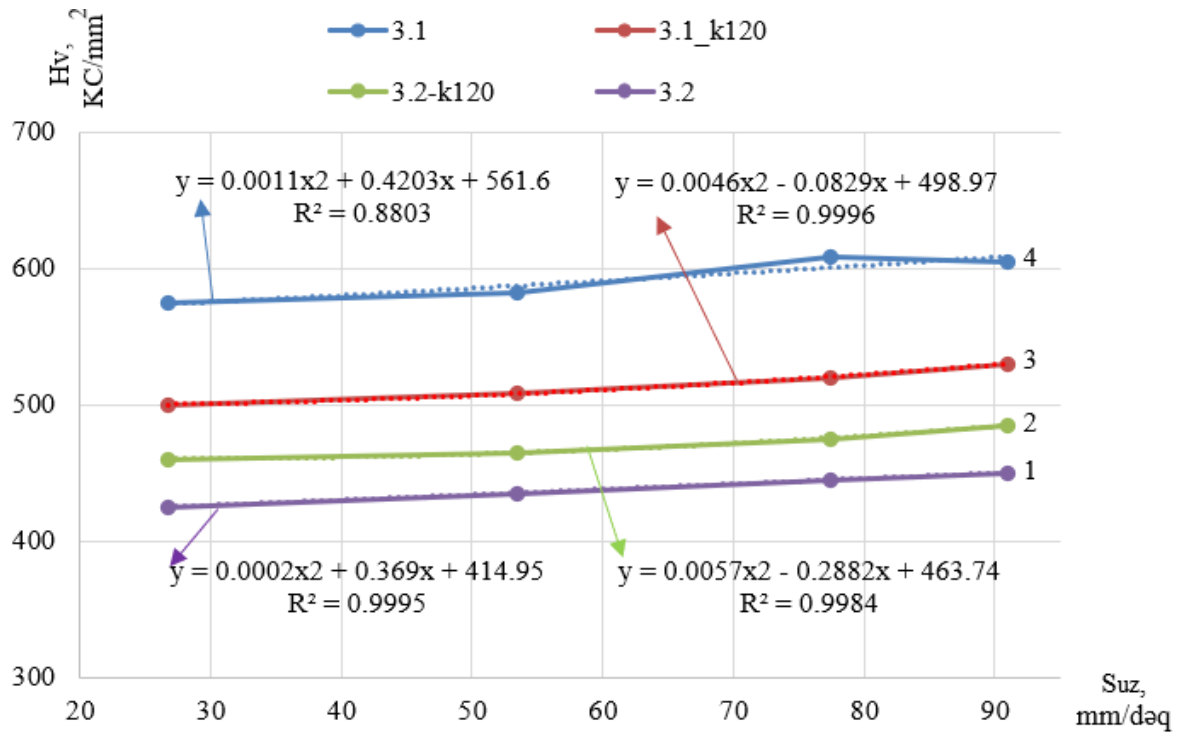
Qrafik 4.3.4 HARDOX-500 markalı polad materialının uzununa verişin 91 mm/dəq sürətində emalda bərkliyin dəyişmə əyriləri

Beləliklə müxtəlif texnoloji üsulla hazırlanmış pəstah səthlərinin hidroabrazivlə kəsilməsində bərkliyin hidroabraziv emalında uzununa verişdən asılı olaraq təcrübi qiymətləri cədvəl 4.3.5-də, əyriləri isə qrafik 4.3.5-də verilmişdir.

Cədvəl 4.3.5

HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişməsinin təcrübi qiymətləri

$S_{uz}(mm/dəq)$	26,7	53,4	77,4	91	
HV601	575	582	608	605	3,2
HV602	500	508	520	530	3.2k
HV603	460	465	475	485	3.1k
HV604	425	435	445	450	3,1



Qrafik 4.3.5 HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişməsinin təcrübi qiymətləri

HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişmə qrafikinə tənlikləri 4.3.1 ifadəsində yazılmışdır. Belə ki, qrafik 4.3.5-dəki ayrılardan göründüyü kimi rəqresiya əmsali $R^2=0,8803 \div 0,9996$ arasında dəyişir.

$$\begin{aligned}
 HV1 &= 561.6 + 0.4203S_{uz} + 0.0011S_{uz}^2 \\
 HV2 &= 498.97 - 0.0829S_{uz} + 0.0046S_{uz}^2 \\
 HV3 &= 463.74 - 0.2882S_{uz} + 0.0057S_{uz}^2 \\
 HV4 &= 414.95 + 0.369S_{uz} + 0.0002S_{uz}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.3.1}$$

HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişməsinin nəzəri qiymətləri cədvəl 4.3.6-da verilmişdir.

Cədvəl 4.3.6

HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişməsinin nəzəri qiymətləri

$S_{uz} \text{ mm/dəq}$	26,7	53,4	77,4	91	
HV601	572,0378	580,9073	587,5414	590,7382	3,2
HV601	500,0359	507,6603	520,111	529,5187	3.2k
HV601	460,1085	464,604	475,5807	484,7155	3.1k
HV601	424,9449	435,2249	444,7088	450,1852	3,1

Qrafik 4.3.5-də 1 əyrisində müxtəlif pəstahların abraziv dairəsilə (K60) təmizlənərək bərkliyi ölçülmüşdür. Alınmış nəticələr orta hesabla 420-450 vahid arasında dəyişir. Qrafik 4.3.5-də 2 əyrisində verilən bərkliyin qiymətləri götürülmüş poladın müxtəlif veriş sürətlərində hidroabrazivlə kəsmədən sonra səthin K120 abraziv dairəsi ilə pardaqlanmasında yaranan bərklik göstərilmişdir. Alınmış nəticələr göstərir ki, uzununa verişin qiyməti pardaqlamada artıqca bərklik monoton yüksəlir, bu da pardaqlama prosesinin kinematik sxemindən irəli gələn fiziki hadisələrlə izah edilir. Veriş sürətinin artması kontakt zonasında təzyiqin və kəsmə qüvvələrinin yüksəlməsinə səbəb olur ki, bu da bərkliyin artmasına gətirib çıxarır. Qrafik 4.3.5-da 4 əyrisi pəstahın müxtəlif veriş hərəkəti sürətilə hidroabrazivlə kəsmədə yaranan bərklik verilmişdir. Buradan belə nəticə də əldə edilir ki, bütün hallarda hidroabrazivlə emal olunmuş səthin bərkliyi pəstahın bərkliyindən 80-100 vahid yüksəkdir. Digər əməliyyatlarda olduğu kimi, hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin sürətinin artması ilə pəstahın kəsilmiş səthinin bərkliyinin yüksəlməsi müşahidə edilir. Qrafik 4.3.5-də 3 əyrisində hidroabrazivlə kəsilmiş səthin pardaqlamadan sonra yaranan bərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılılığı verilmişdir. Tədqiqatlar göstərir ki, hidroabrazivlə kəsilmiş səthin pardaqlanması nəticəsində bərklik orta hesabla 50-60 vahid azalır. Ona görə də hidroabrazivlə hazırlanan maşın hissələrinin səthinin möhkəmliyi və yeyilməyə qarşı davamlılığı digər mexaniki üsullara nisbətən 1,1-1,2 dəfə yüksək olur [64, s.18-19].

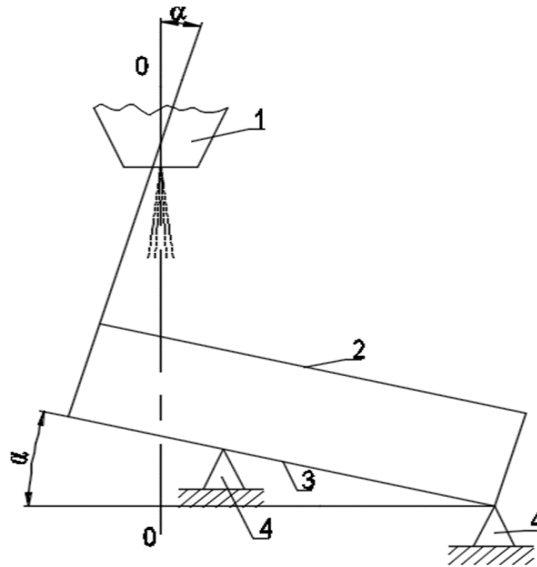
4.4. Hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsilməsinin yeni texnologiyasının işlənməsi

HARDOX-500 markalı polad pəstahların kəsmə üsulu ilə emalında texnoloji problemlərdən biri pəstahın kəsilən səthinin ölçü dəqiqliyinin, yəni kəsilmiş səthin pəstahın bazalaşdırma müstəvisinə perpendikulyarlığının təmin edilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Əgər hidroabraziv kəsmədə səthin perpendikulyarlığı təmin edilmirsə, onda həmin səthin dəqiqliyini artırmaq üçün növbəti mexaniki emal aparılmalıdır. Bu halda kəsilmiş pəstahın perpendikulyarlığı, məsələn, paradaqlama əməliyyatı ilə yerinə yetirilə bilər. Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahların qalınlığı və veriş hərəkəti sürətinin dəyişməsi ilə yan səthin perpendikulyarlığı verilir, kontakt səthinin forması konik səthin yaranmasına səbəb olur (IV fəsil, qrafik 4.2.2). Hidroabraziv kəsmədə formalaşan səthin konusluluğunun tədqiqi 2D və 3D-də skan edilərək öyrənilmişdir. Hidroabraziv kəsmədə pəstahların alınan səthlərinin perpendikulyarlığının “CAD Geometrik Control” proqramından istifadə edilərək “Steinbichler” skaner cihazı ilə skan olunması ilə ölçü xətlərinin, o cümlədən standart xətlərin müqayisəli tədqiqi aparılmışdır. İşlənmiş proqram təminatı ilə müəyyən olunan xətlərin qrafiki həlli nəticəsində hidroabraziv üsulu ilə kəsilmiş pəstahların dəqiqliyini yüksəltmək üçün yeni kəsmə texnologiyasının işlənməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Eksperimental tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, kəsilən pəstahın qalınlığının artması ilə emal dəqiqliyi qismən yüksəlir, lakin buna baxmayaraq kəsilmiş səthin perpendikulyarlığı təmin olunmur. Eləcə də uzununa verişin yüksəlməsi ilə emal dəqiqliyi aşağı düşür. Verilən problemin öyrənilməsi müxtəlif ölçülü: $30 \times 20 \times 15$; $100 \times 20 \times 10$; $100 \times 20 \times 5$ mm olan pəstahlar üzərində aparılmış və kəsilən səthin perpendikulyarlığı şəkil 4.2.4-də verilən sxem əsasında öyrənilmişdir. Ölçmələrdən alınmış qiymətlər cədvəl 4.2.7-də göstərilmişdir. Cədvəldə verilmiş qiymətlərdən görünür ki, məsələn $S_{uz} = 26,7 \text{ mm/dəq}$ rejimi ilə kəsilmiş, qalınlığı 5 mm olan pəstahda yan səthin mailliyi $1,24^\circ$, qalınlığı 10 mm olan pəstahda maillik $1,45^\circ$, qalınlığı 15 mm olan pəstahda isə maillik $1,78^\circ$ alınır. Eləcə də uzununa verişin $S_{uz} =$

26,7mm/dəq-dən $S_{uz}=91\text{mm/dəq}$ qədər artması nəticəsində maillik qalınlığı 5 mm olan pəstah üçün 1,24°-dən 2,54°, qalınlığı 10 mm olan pəstah üçün maillik 1,45°-dən 2,83°, qalınlığı 15 mm olan pəstah üçün maillik 1,78°-dən 3,12°-yə qədər artır [63, s.785], [114, s.1573].

Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, pəstahların kəsilmiş səthlərində perpendikulyarlığı təmin etmək üçün alınmış meyillənmələrə müvafiq olan hidroabraziv kəsmədə pəstahın yerləşdirmə bazasına səthini su abraziv şırnağını verilməsini təmin edən müştüyə nəzərən α -bucağı altında yerləşdirilməlidir. Təklif etdiyim kəsmə sxeminin baza səthinin yerləşdirilməsi şəkil 4.4.1-də göstərilmişdir. Şəkil 4.4.1-dən göründüyü kimi kəsilən pəstahın 2 yerləşdirmə baza səthi müştüyün “0-0” oxuna nəzərən maillik bucağı qədər əks tərəfdən qaldırılaraq kəsmə prosesi icra olunur. Bu halda kəsilən pəstahın emal olunmuş səthinin sağ tərəfinin baza səthinə 3-ə perpendikulyarlığı təmin olunur.



Şəkil 4.4.1 Hidroabraziv kəsmədə pəstahın yerləşdirmə sxemi

Burada 1-müştük, 2-pəstahın yerləşdirmə bazası, 3-kəsilən pəstahın emal olunmuş səthinin baza səthi, 4-dayaq.

Verilmiş yeni kəsmə sxeminə əsasən emal olunan pəstahların səthinin baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığının tədqiqi göstərilmişdir. Meyillənmənin minimum

həddi -0,01 mm, maksimum həddi isə +0,06 mm arasında dəyişir ki, bu da tələb olunan standart xətlər daxilində olduğunu təmin edir.

4.5. Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin «İqlim EİM» MMC-nin silah hissələrinin ştamplanması üçün tətbiq edilən ştampların kəsici, formalaşdırıcı detalların istehsalında tətbiqi ilə əlaqədar şərti iqtisadi səmərəliliyin hesabı

Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə rejim parametrləri və təklif edilən yeni kəsmə üsulunun istehsalatda tətbiqi “İqlim EİM” MMC-də həyata keçirilmişdir (əlavə 1).

Təqdim edilən hesabatda istehsal edilən ştampların kəsici, formalaşdırıcı detallarının pəstahlarının mövcud texnoloji üsulla, yeni detalların qaynaq üsulu ilə istehsalında və həmin detalların pəstahlarının hidroabraziv üsulla (təklif edilən yeni texnoloji üsul) kəsilməsinin müqayisəli səmərəlik hesabı aparılmışdır.

İqtisadi səmərəlik həndəsi ölçüsü 400x300x50 mm olan pəstahların qaynaq üsulu ilə və həmin pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində yaranan metal itkisi əsasında yaranan səmərəlilik ilə müəyyən edilmişdir. Pəstahın eskizi şəkil 4.5.1-də verilmişdir.

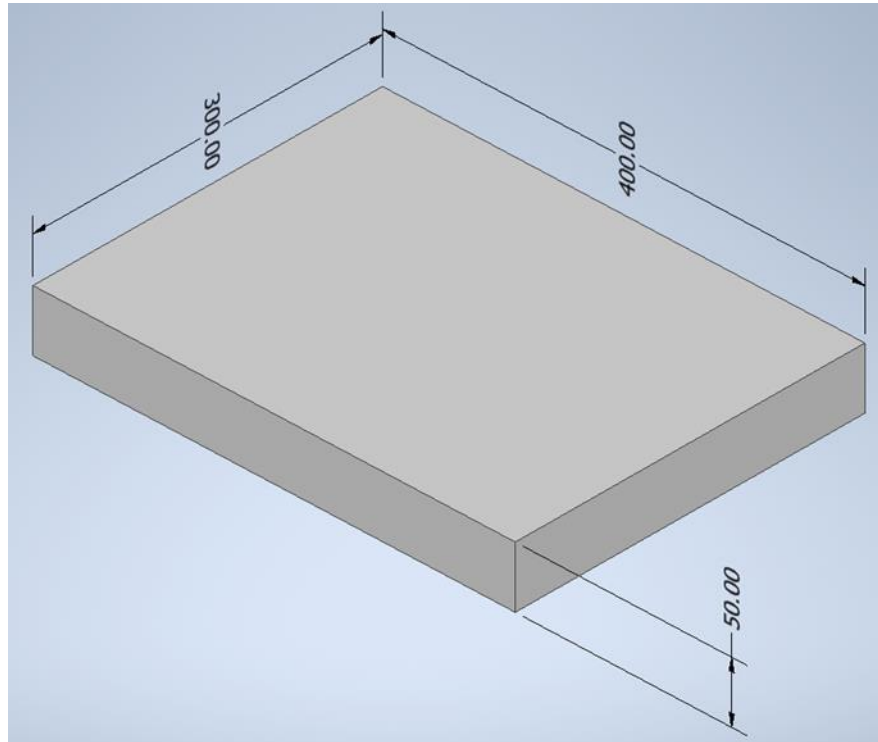
Ölçüsü 400x300x50 mm olan pəstahı qaynaq üsulu ilə kəsəndə metal itkisini aşağıdakı kimi tapmaq olar. Kəsilən pəstahın təmiz çəkisi $Q_T = 47,1$ kq-dır. Qaynaqla kəsmə üsulunda götürülən pəstahın ilkin çəkisi $Q_P = 52,75$ (mövcud texnoloji prosesə əsasən).

Bu halda materialın istifadə əmsalı K_p aşağıdakı kimi yazılır.

$$K_q = \frac{Q_T}{Q_P} = \frac{47,1}{52,75} = 0,89 \quad (4.5.1)$$

Təklif edilən yeni hidroabraziv kəsmə üsulunda pəstahın tələb olunan ölçüdə kəsilməsi üçün materialın ilkin çəkisi $Q_P = 47,5$ kq götürülməsi kifayət edir. Bu halda materialdan istifadə əmsalı K_h aşağıdakı düsürlə təyin edilir.

$$K_h = \frac{Q_T}{Q_P} = \frac{47,1}{47,5} = 0,99$$



Şəkil 4.5.1 iqtisadi səmərəlik üçün pəstahın eskizi

Hesablanmış material sərfinə əsasən hidroabrazivlə kəsmədə yaranan iqtisadi şərti səmərəliliyi aşağıdakı kimi hesablamaq olar.

Əsas materiala çəkilən xərcləri aşağıdakı düsturla hesablayırıq:

$$C_{\text{əm}} = (M_p \cdot C_m - M_{\text{tul}} \cdot C_{\text{tul}}) \cdot (1 - K_z), \text{ manat ədəd}$$

burada $C_{\text{əm}}$ - əsas materiala çəkilən xərclər, manatla ədəd;

M_p - pəstahın çəkisi.

$$M_p = 52,75 \text{ kq.}$$

Hidroabrazivlə kəsmə üsulu kəsilən pəstah üçün, $M_p = 47,5 \text{ kq}$

$C_M = 2.15 \text{ man/kq}$ – 1 kq materialın qiyməti, manatla;

M_{tul} – tullantının çəkisi;

Qaynaq üsulu ilə kəsilən pəstah üçün, $M_p = 5,65 \text{ kq}$;

Hidroabrazivlə kəsmə üsulu kəsilən pəstah üçün, $M_p = 0,4 \text{ kq}$;

$C_{tul} = 0,12 \text{ man/kq} - 1 \text{ kq tullantının qiyməti, manatla;}$

K_z – zaylıq əmsalı.

Qaynaq üsulu ilə kəsilən pəstah üçün

$$C_{\text{əm}} = (52.75 \cdot 1.2 - 5.65 \cdot 0.12) \cdot (1 - 0.2) = 79.3 \text{ manat.}$$

Hidroabrazivlə kəsmə üsulu kəsilən pəstah üçün

$$C_{\text{əm}} = (47.5 \cdot 1.2 - 0.4 \cdot 0.12) \cdot (1 - 0.2) = 68.5 \text{ man.}$$

Cari xərclərin azaldılması

$$A = (C_{\text{qaynaq}} \cdot 100\%) / C_{\text{hidroabraziv}} = (79.3 \cdot 100\%) / 68.5 = 15\%$$

$$A = \frac{C_q \cdot 100\%}{C_h} = \frac{79,3 \cdot 100\%}{68,5} = 15\%$$

İqtisadi səmərəliliyin göstəriciləri hidroabraziv kəsmə ilə alınan pəstahlar üçün $K=15-20\%$ təşkil edir. Aparılmış hesabatlardan alınan nəticələr hidroabraziv emal üsulunun digər qaynaq emal üsuluna nisbətən kəsmədə iqtisadi cəhətdən daha səmərəli olduğunu sübut edir.

4.6. Tədqiqatın eksperimental hissəsinin BTU Cottbus-Senftenberg-də həyata keçirilməsi və tədqiqat nəticələrinin tədris prosesinə tətbiq edilməsi

“Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi” mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin eksperimental təcrübələrinin BTU Cottbus-Senftenberg-də həyata keçirilməsi haqqında tərtib edilmiş akt əlavə 2-də verilmişdir. Tərtib olunmuş aktda BTU Cottbus-Senftenberg-də “Metalkəsən dəzgahlar” kafedrasının laboratoriyasında təcrübələrin FLOW Gut modelli RPI dəzgahında aparılması, dissertasiyanın iş planına əsasən hidroabraziv kəsmə üsulu ilə HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladın emalında yaranan kələ-kötürlüklərin parametrləri, kəsiyin forma və ölçü xətalrı, emal olunmuş səthin bərkliyinin dəyişmə qanunauyğunluqları, abrazivin dənəvərliyi və çıxan yonqarın

ölçüləri, müştüyün ucluğunun diametri hidroabraziv kəsmə rejimi parametrlərindən asılı olaraq geniş miqyasda öyrənilməsi göstərilmişdir. Hidroabraziv kəsmədə alınan səthin kələ-kötürlüyü, dalğavariliyi laboratoriyada “Jenoptik” cihazında, abrazivin dənəvəriliyi və çıxan yonqarın forma və ölçüləri “Nikon CM3-10A” mikroskopu və Leica M80 modelli makroskopda, müştüyün ucluğunun diametri “Mitudoym TM” cihazında, kəsiyin forma və ölçü xətləri Geomagic Control proqram təminatı ilə təchiz edilmiş “Steinbichler” skaner cihazında, bərkliyi isə “Heckert” modelli cihazda tədqiq edilməsi, alınmış nəticələrin dissertasiyada müvafiq şəkillər, cədvəllər və qrafiklərdə əksini tapması, tədqiqatlardan alınmış nəticələr əsasında kəsilən səthin dəqiqliyini yüksəltmək üçün və yan səthin perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni texnologiyanın işlənməsi və təcrübədə sınaqdan keçirilməsi qeyd edilmişdir.

Dissertasiya işinin nəticələrinin AzTU-nun “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrasında bakalavriat səviyyəsində 050622-“Maşın mühəndisliyi” ixtisası üzrə “Maşınqayırmada texnoloji proseslərin layihələndirilməsi” və magistratura səviyyəsində 060612-“Maşın mühəndisliyi” ixtisası üzrə “Tədqiqat üsulları” fənlərinin tədris prosesində tətbiqi barədə tövsiyələr-materialların hidroabrazivlə kəsmə prosesinin yeni yanaşma ilə həlli, yaranan qüvvələrin hesablanma metodikası, xrom-nikelli poladların hidroabraziv kəsmədə yonqarəmələgəlmənin mexanizminin müəyyən edilməsi, xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində emal səthinin kələ-kötürlüyünün, forma xətlərinin, bərkliyin emal rejimi parametrlərindən asılılıqlarının müəyyən edilməsi, kəsilən materialların qalınlığından asılı olaraq, formalaşan səthin baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığının alınmasının yeni kəsmə sxeminin işlənməsi və texnoloji parametrlərin hesablanması metodikasının öyrənilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Dissertasiya işinin nəticələrinin tətbiqi barədə tövsiyə əlavə 3-də verilmişdir.

4.7. IV Fəsil üzrə nəticələr

1. Aparılmış geniş miqyaslı eksperimental və nəzəri araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, xrom-nikelli poladların, yəni HARDOX-500 markalı poladlardan maşın hissələrinin istehsalında hidroabraziv kəsmə üsulunun tətbiq edilməsi zamanı kəsilmiş

səthlərin kələ-kötürlüyünün, emal dəqiqliyinin və digər çıxış parametrlərinin formalaşması pəstahın qalınlığı ilə yanaşı texnoloji rejim parametrlərindən çox asılıdır.

2. Tədqiqatlardan müəyyən olunmuşdur ki, hidroabrazivlə HARDOX-500 markalı poladların kəsilməsində detalın en kəsiyi üzrə yaranan forma xətalrı, dalğavarilik, kələ-kötürlük eyni paylama xarakterinə malik deyil, yəni göstərilən amillər kəsilmiş səthin hündürlüyü və sahəsi boyunca fərqli ölçülərdə formalaşır ki, bu da hidroabraziv emalının texnoloji xüsusiyyətlərindən irəli gəlir.

3. Hidroabrazivlə kəsilmiş pəstahların hündürlüyü üzrə səthin ilkin hissəsində (şərti olaraq sol kəsik adlandırılmışdır) kələ-kötürlük, pəstahın orta hündürlüyünün oxu üzərində yaranan kələ-kötürlüyün R_a orta hündürlüyü, eləcə də R_z kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü yüksək hədlərdə alınır, ona görə də hidroabraziv kəsmədə detalın kələ-kötürlüyünə qoyulan tələblərə uyğun olaraq emal prosesinin texnoloji rejim parametrlərinin seçilməsi öyrənilməlidir.

4. Eksperimental təcrübələrdən təyin olunmuşdur ki, pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində pəstahın qalınlığı artdıqca kəsilmiş səthin bütün sahələrində kələ-kötürlüyün R_a və R_z parametrlərinin hündürlüyü aşağı düşür. Ona görə də pəstahların qalınlığı azaldıqca (məsələn, pəstahın qalınlığının 5 mm və kiçik qalınlıqlarında), poladların hidroabrazivlə kəsilməsi zamanı kələ-kötürlüyün qiymətlərini azaltmaq üçün texnoloji rejim parametrləri seçilməlidir.

5. Təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın dərin qatlarında abraziv dənələrinin çıxardığı yonqar qatının qalınlığı və formaları sabitləşdiyi üçün həmin səthdə alınan kələ-kötürlüyün hündürlükləri stabilləşir.

6. Hidroabrazivlə kəsmədə kələ-kötürlüyün abraziv dənələrinin ölçüsündən, onların çəki sərfiyyatından, kəsmənin uzununa veriş hərəkətindən, su abraziv qarışığının təzyiqindən və digər amillərdən asılı olaraq dəyişmə intervalları öyrənilmiş və onların optimal qiymətləri müəyyən edilmişdir.

7. Silindrik, mürəkkəb profilə malik detalların pəstahlarının hidroabrazivlə kəsilməsində kəsiyin səthindən $\pm 0,3 \div 0,4$ mm dərinliyində abraziv dənələri

yonqarçıxarma izlərinin hesabına forma xətələri meydana gəlməsinə səbəb olur. Alınmış pəstahlarda kəsilən səthin dalğavariliyi $-0,06 \div +0,07$ mm qədər dəyişir.

8. Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın yan səthində emal olunan materialın qalınlığından və uzununa verişin qiymətlərindən, eləcə də texnoloji rejim parametrlərinin dəyişmə intervalından asılı olaraq meyillənmə baş verir. Ona görə də hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin pəstahın yerləşdirmə müstəvisinə perpendikulyarlığı pozulur.

9. Hidroabraziv kəsmədə pəstahların kəsilən səthinin onun yerləşdirmə baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni texnoloji kəsmə sxemi işlənmişdir. Yeni texnoloji kəsmə sxeminin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, pəstahın baza yerləşdirmə səthi su abraziv şırnağını emal səthinə verən müştüyün şaquli oxuna nəzərən kəsmədə səthdə yaranan meyillənmə bucağı qədər pəstahın uzunluğu boyunca qaldıraraq pəstah bərkidilir, yaxud müştüyün su abraziv şırnağının emal səthinə verilməsi kəsilən səthdə yaranan meyillənmə bucağına bərabər istiqamətdə kəsmə prosesi icra edilir.

10. Nəzəri tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabraziv kəsmədə xrom-nikelli poladların səthinin formalaşması abraziv dənələrinin zərbələri ilə yonqarəmələgəlmə prosesi getdiyi üçün səthin bərkliyi dəyişir.

11. Praktiki təcrübələrin araşdırılması göstərmişdir ki, hidroabraziv emal üsulunda HARDOX-500 markalı poladdan kəsilmiş pəstahın səthinin bərkliyi texnolojin rejim parametrlərindən asılı olaraq dəyişir, məsələn uzununa verişin sürəti artdıqca bərklik $10 \div 15$ %; su abraziv şırnağının təzyiqi artdıqca $15 \div 18$ % eləcə də digər rejimlərdə artması müşahidə olunur ki, buda hidroabrazivlə kəsilmiş səthin yeyilməyə qarşı müqavimətinin artmasına səbəb olur.

12. Dissertasiya işində təcrübələrin planlaşdırılması çoxfaktorlu (tam faktorlu) plan əsasında aparılmış, alınmış əyriyələrin, asılılıqların reqresiya analizi hesablanmış və riyazi tənliklər 2-ci dərəcədən ibarət olmaqla müvafiq nəticələr verilmişdir.

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 təşkiledicilərinin (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 rəşional 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 $80\div120$ mkm, onların su şırnağındakı sərfiyyatının $165\div215$ qr/l götürülməsi tövsiyə 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 91mm/dəq həddinə qədər səthdə yaranan kələ-kötürlüyün R_a və R_z qiymətləri monoton artır, 91mm/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 rəasional olur [2], [3].

9. Silindrik pəstahlarda mürəkkəb kontura malik, dairəvi formalı səthlərin hidroabrazivlə kəsilməsində detalın ölçü xətalalarının azaldılması üçün dairəvi verişin həddinin $75 \div 150 \text{ mm/dəq}$ götürülməsi istehsal zamanı 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 alınır. Ona görə də səthlərin

perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni hidroabraziv kəsmə sxeminin işlənməsini tələb edilir [12].

13. Araşdırmalardan təyin edilmişdir ki, kəsilən pəstahların qalınlığından, eləcə də uzununa verişdən asılı olaraq kəsilən səthin yerləşdirmə baza səthinə mailliyi 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 səthini şırnağı verən müştüyün oxuna nəzərən pəstahın qalınlığına və yaxud uzununa verişin qiymətinə görə tələb olunan bucaq qədər maili yerləşdirib kəsmə prosesi icra olunur, yaxud ikinci kəsmə sxemi kimi olaraq pəstah dəzgahın işçi stolunda paralel oturdulur və tələb olunan bucaq qədər müştüyün oxunu pəstahın səthinə nəzərən maili yerləşdirilir [10].

15. Təklif olunmuş hidroabraziv kəsmə prosesinin yeni texnoloji prosesinin xüsusiyyətlərindən biri də su şırnağı təzyiqinin abraziv qarışıqda itməsinin qarşısını almaq üçün su şırnağı başlığının oymağının 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 tənliklər alınmış və şərh edilmişdir [14], [15].

17. Dissertasiya işinin alınmış nəticələrinin “İqlim EİM” MMC-nin silah hissələrinin şamplanması üçün tədqiq edilən şampların 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 şamp üçün orta hesabla 1,5 kq qənaət olur;

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

-şampın uzunömürlülüüyü 15-20 % artır.

-məhsuldarlıq 25 % artır.

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

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Qədirov, N.B. Nəzəri mexanika kursu/ N.Qədirov. – Bakı: Ali texniki məktəblər üçün dərslik. 3-cü nəşri. Bakı Universiteti nəşriyyatı, – 1996. – 550 s.
2. Mirzəcanzadə, A.X., Hidravlika. Ali texniki məktəb və fakültələr üçün dərslik./ A.X.Mirzəcanzadə, R.S. Qurbanov, Z.M. Əhmədov. – Bakı: Maarif nəşriyyatı, – 1990. – 280 s.
3. 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.
4. Simon, S., Yusubov, N.D., Əmirli, 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: –1-2may, –2024. – s. 439-443.
5. 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.
6. Аверин, Е. А. Анализ и доработка аналитических методов расчета гидроабразивной эрозии горных пород/ Е.А.Аверин, А.Б.Жабин, А.В.Поляков [и др.]// Горное оборудование и электромеханика. Кузбас: – 2018. 2 (136), – с. 17–24.
7. Аленичев, В.М. О возможности импортозамещения абразива при гидроабразивном резании // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. № 7. – с. 60-67.
8. 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. – №17, –с. 147-149.

9. 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.
10. Базенов, Г.М. Гидроабразивная технология резки листового стекла/ Г.М.Базенов, Г.Т.Итыбаева, А.Ж.Касенов [и др.]// СТИН, – Москва: – 2022. №8, – с. 17-21.
11. Балабанов, К.С. Математическая модель определения стоимости гидроабразивной резки неметаллических тугоплавких и металлических материалов//Пермский национальный исследовательский политехнический университет. MASTER`S JOURNAL. – Перм: – 2020. №1. – с. 201-209.
12. Барзов, А.А. Эмиссионная технологическая диагностика / А.А. Барзов. – Москва: Машиностроение, – 2005. – 384 с.
13. Барзов, А.А. Повышение производительности гидроабразивной резки материаловпутем выбора рациональных режимов обработки методом акустической эмиссии/ А.А. Барзов, А.Л.Галиновский, М.В.Хафизов [и др.]//Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – Москва: – 2016. №1, – с.71-77.
14. Барсуков, Г.В, Михеев А.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна//Справочник. Инженерный журнал, – 2008 г. №1. – с. 9-14.
15. Барсуков, Г.В. Исследование погрешности формы при резании листовых материалов гидроабразивной струей //Сб. тр. междунар. науч.- техн. конф. фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. «Технология -2003», – 2003, – с. 449–455.
16. Барсуков, Г.В. Повышение эффективности процесса гидроабразивной обработки/ Г.В. Барсуков. – Орел: – 2006. – 411с.

17. Верченко, А. В. Повышение эффективности технологических процессов гидроабразивной резки деталей: / дис. кандидат наук: 05.02.08-технология машиностроения./ – Ростов-на-Дону, 2016. –169 с.
18. Галиновский, А.Л. Оценка технико-экономической эффективности гидроабразивного резания конструкционных материалов/ А.Л.Галиновский, В.М. Елфимов// Технологии машиностроения. – 2008. – с.22-32.
19. Грищенко, Т.А. Применение гидроабразивной резки при обработке деталей из полимерных композиционных материалов/ Т.А. Грищенко, Н.И.Мелюхов, В.О.Любушкин//Вестник Инженерной Школы ДВФУ (Дальневосточный федеральный университет). Дальневосток: – 2017. № 2(31). – с.49-55.
20. Гусейнов, Р.В. Математическое моделирование в исследованиях шероховатости применительно к внутренним поверхностям/ Р.В.Гусейнов, Э.З.Батманов, В.П.Булгаков// Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2019. № 1, – с.27-33.
21. Ерещенко, Т.В. Планирование эксперимента /Учебно-практическое пособие/Ерещенко Т.В., Н.А.Михайлова. Волгоград: – «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», – 2014. –77 с.
22. Ерухимович, Ю.Е. Математическое моделирование и совершенствование метода расчета эффективности процесса резания горных пород гидроабразивным инструментом/Тема диссертации кандидат технических наук Ерухимович, Ю.Э., «Тульский государственный университет»/– Тула, 1999. – 180 с.
23. Ерухимович, Ю.Э. Математическое моделирование совершенствование метода расчета эффективности процесса резания горных пород гидроабразивным инструментом: /Автореф.дис...канд.техн.наук: 05.05.06 / – Тула, 1999. – 16 с.
24. Задорожная, Е.А. Теория планирования эксперимента: учебное пособие/– Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, Челябинск:- 2018.– 92 с.

25. Иванов, В. В. Оценка адекватности имитационной модели процесса гидроабразивного резания / В.В. Иванов, С.В. Иванов, Вл.В. Иванов // Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов [Текст]: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / Редкол.: Чевычелов С.А. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск: – 2-3 октября, – 2015, – с. 154-158.
26. Иванов, В. В., Иванов С. В. Моделирование внедрения абразивной частицы в материал как поиск оптимального методологического подхода к разработке имитационной модели процесса гидроабразивной резки // Вестник развития науки и образования, – 2014. №3, – с. 90 - 95.
27. Иванов, В. В., Иванов С. В., Шпилев В. В., Мирошкин А. Г. Теоретические предпосылки исследования процесса гидроабразивной резки на оси двухфазной турбулентной струи / «Теоретические и при-кладные проблемы науки и образования в 21 веке: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочн.науч.-практ. конф.» – Тамбов: – 2012. – с. 62 -64.
28. Иванов, В. В., Шпилев В. В., Решетников М. К., Береда Н. Н. Метод увеличения режущей способности гидроабразивной струи// «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011: сб. науч. тр. SWorld по материалам Междунар. науч.-практ. конф.» – Одесса: Черноморье, – 2011. Вып. 4. Т. 6. – с. 18 - 23.
- 29.Иванов, В.В. Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной поддержки и оптимальной настройки гидроабразивных станков с числовым программным управлением/В.В. Иванов//Computational nanotechnology. – 2015. №2, – с. 55-61.
30. Иванов, В.В., Иванов С.В., Иванов В.В. Имитационные экспериментальные исследования величины съема металла от режимов гидроабразивной обработки с использованием информационных технологий.// Computational nanotechnology, – Саратов: – 2015, №4, – с.74-78.

31. Иванов, В.В., Решетников М.К. Компьютерное имитационное моделирование процесса гидроабразивного резания. // Вестник СГТУ, – 2015, № 2 (79), –с.46-49.
32. Иванов, В.В., Тебякина Д. С. Состояние вопроса имитационного моделирования технологического процесса гидроабразивной обработки. Национальная ассоциация ученых (НАУ) // Технические науки. – 2015. №III (8), – с. 60-63.
33. Иващенко, А. А. Технология гидроабразивной резки // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2002. № 8.1. – с. 20–21.
34. Игнатова, А.М. О возможности гидроабразивной резки синтетических минеральных сплавов (базальтового литья) и натурального камня / А.М. Игнатова, Р.Н. Шартинов, О.В. Сидоров, О.В. Лапчинская // Базальтовые технологии. – 2014. – №12. – С. 71-76.
35. Игнатова, А.М., Балабанов С.К., Игнатов М.Н. Исследование зонированности поверхности гидроабразивного реза конструкционной стали обыкновенного качества методом анализа изображений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. Перм: – 2019. –Т. 21, № 1. – с. 83–90.
36. Игнатова, А.М. Классификация основных элементов технологической системы гидроабразивного резания для обеспечения точности и качества поверхности реза/ А.М.Игнатова, М.Н.Игнатов, Р.Н.Шаритнов// Машиностроение: сет. электрон. науч. журн. – 2015. – Т. 3, № 1, – с. 17–20.
37. Илюхин, А.А. Особенности процесса гидроабразивной резки сотовых панелей космических аппаратов/ А.А.Илюхин, В.И.Колпаков. А.Л.Галиновский [и др.] // ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия, – 2018, №4, – с. 101-107.
38. Кавун, И.И., Гусев В.Г. Повышение эффективности способов раскроя листового материала// MASTER`S JOURNAL Вестник ПНИПУ, – 2016. № 1, – с.61-66.

39. Кириллов, О.Н., Смоленцев В.П., Котуков В.И. Механизм формирования геометрии переходных участков при комбинированной обработке/ Вестник Воронежского государственного технического университета// «Механика и машиностроение», – Воронеж: – 2016. № 3, том 12, – с. 71-76.
40. Кириллов, О.Н., Смоленцев В.П. Расчет параметров струи при комбинированной гидроабразивной обработке. Вестник Воронежского государственного технического университета//«Механика и машиностроение». Воронеж: – 2017. №4. Т13. – с.120-124.
41. Коржов, Е.Г. Некоторые особенности водоструйной обработки материалов “waterjet-технология”, Семинар № 18, –2006, – с. 373-387.
42. Косенко, Е.А. Планирование эксперимента (в машиностроении): учебно-методическое пособие / Е.А. Косенко. – М.: МАДИ, – 2023. –56 с.
43. Кошелев, А.А., Эйзиер Л.А. Технология и оборудование для автоматизированной гидроабразивной обработки деталей// Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. Ростов-на-Дону: – НИИТМ, –1981. – с. 37-47.
44. Куковинец, А. В. Полный факторный эксперимент для исследования фрагментарного метода обнаружения границ объектов на цифровом изображении//МИРЭА-Российский технологический университет. Technical Science/«Colloquium-Journal-321512929, – с.12-16.
45. Глухих В. В. Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ. Учебное пособие / Глухих В. В., Шкуро А. Е., Артемов А. В., [и др.] – Екатеринбург: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет, – 2023. – 104 с.
46. Мендалиева, С.И., Косатбекова Д.Ш., Акулович Л.М. Технология и оборудование гидрорезки и гидроабразивной обработки в современном

- машиностроении, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Ғылым Жаршысы// Вестник Науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, – 2016. – № 2(89). – с. 144-153.
47. Мерзляков, В.Г. Гидроструйные технологии в горном деле: основные результаты научно-исследовательских работ // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. № 2(136). – с. 3–7.
48. Мерзляков, В.Г. Опыт применения гидроструйных технологий в исполнительных органах проходческих комбайнов // Горная промышленность. 2015. № 4 (122). С. 81–87.
49. Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты»/М.: Машиностроение, – 1989. – 328 с.
50. Мещеряков, А.В., Шулёпов А.П. Математическая модель процесса формирования микрорельефа поверхности при струйной гидроабразивной обработке // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2016. Т. 15, № 4. – с. 235-242.
51. Нозирзода, 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.
52. Нургаянова, О.С. Лабораторный практикум по дисциплинам «Теория планирования эксперимента», «Планирование эксперимента» [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац., техн. ун-т. Уфа: – УГАТУ, – 2022. – 39 с.
53. Полянский, С. Н., Нестеров А. С. Технология и оборудование гидроабразивной резки // Вестник машиностроения. – 2004. № 5. – с. 43-46.

54. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований: метод. указания / сост. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А.; ВолгГТУ. – Волгоград: – 2008. – 16 с.
55. Рябкова, Н.М., Грищенко Т.А. Технология изготовления формообразующей оснастки для крупногабаритных композитных панелей на авиапредприятии // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2014. № 4 (21). – с. 50–53.
56. Сазанов, И.И. Современное состояние и перспективы развития технологий гидроструйной и гидроабразивной резки / И. И. Сазанов, А. М. Лядник, С. В. Лядник //Технология машиностроения. – 2013. № 3, – с. 11-14.
57. Санинский, В.А., Тышкевич В.Н., Александров А.А. Комплектование многоместного приспособления для одновременной гидроабразивной обработки длинномерных труб//Изв. Волгоградского государственного технического университета. – 2017. № 5, – с. 46–50.
58. Саразов, А. В. Повышение эффективности плоского шлифования заготовок малой жёсткости направляющих линейных подшипников. 05.02.07 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»,/ Дис. на соискание ученой степени к.т.н./, Волгоград, – 2021. –156 с.
59. Сидняев, Н.И. Теория вероятности и математическая статистика / Н.И. Сидняев. М.: –Юрайт, – 2011. – 221 с.
60. Сидняев, Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных/ Н. И. Сидняев. М.: Юрайт, – 2013. – 495 с.
61. 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.
62. 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.
63. Симон, С. Технологические особенности отрезки заготовки HARDOX-500 гидроабразивным способом/ С.Симон, Н.Д.Юсубов, С.Ф. Амирли, [и др.]//Вестник машиностроения. – 2024. Т. 103. № 9, – с.781-785.
64. 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.
65. Скрыбин, В.А. Модернизация технологического оборудования для гидроабразивной резки / Ремонт. Восстановление. Модернизации. «Пензенский государственный университет», – Пенза: – 2023, № 8, – с.13-18.
66. Смоленцев, В.П. Комбинированное разделение заготовок гидроабразивным методом / В.П Смоленцев, Е.В. Гончаров, В.И. Котуков // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. М.: – Спектр, –2014.Т. 3. – с.118-172.
67. Смоленцев, В.П. Формирование поверхностного слоя при гидроабразивном разделении металлов с наложением электрического поля [Текст] / В.П. Смоленцев, Е.В. Гончаров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011.Т.7, №7. – с.74-77.
68. Смоленцев В.П., Гончаров Е.В. Формирование поверхностного слоя при гидроабразивном разделении металлов с наложением электрического поля.[Текст]/Вестник Воронежского государственного университета. – Воронеж: – 2022. Т.7-№7. – с. 71-77.

69. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве / Бреннер, В. А. [и др.]. М.: Горная книга, – 2010. – 337 с.
70. Соколовская, И.Ю. Полный факторный эксперимент / И.Ю. Соколовская // Методические указания для самостоятельной работы студентов. – Новосибирск: –НГАВТ, – 2010. – 36 с.
71. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов/А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
72. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под редакцией А.М. Дальского и др. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение – 1 т., 2003. – 944 с.
73. Степанов, Ю. С., Бурнашов М. А., Степанищев М. А. // Изв. ОрелГТУ. 2009. № 2-3. с. 64.
74. Степанов, Ю.С., Барсуков Г. В. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости // СТИН. – 2003. № 10. – с. 15–17.
75. Степанов, Ю.С., Барсуков Г.В. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей // М.: Машиностроение, – 2004. –с. 240.
76. Степанов, Ю.С., Бурнашов М.А., Головин К.А. Прогрессивные технологии гидроструйного резания материалов / Ю.С.Степанов, М.А. Бурнашов, К.А. Головин. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2009, – 318 с.
77. Степанова, Е. Ю., Кожус О. Г., Барсуков Г. В. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. № 1(54), – с. 243-253.
78. Тамаркин, М. А. Технологические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: / автореферат дис. на соиск. доктора технических наук./ – Ростов-на-Дону: – 1995. – 299 с.

79. Тамаркин, М.А., Верченко А.В., Кишко А.А. Повышение эффективности гидроабразивной резки толстолистовых авиационных материалов. // Вестник Московского авиационного института, – Москва: – 2017. Т24. №2. – с. 104-113.
80. Тамаркин, М.А., Шевцов С.Н., Клименко А.А. Моделирование процесса единичного взаимодействия гранулы свободного абразива и обрабатываемой детали // Автоматизация и современные технологии. – 2005, № 5, – с. 308–312.
81. Тарасов, В. А., Полухин А. Н. Оценка геометрических параметров формируемой поверхности при гидроабразивной обработке. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. –Москва: –2012. №1. – с.107-116.
82. Тихомиров, Р. А. Развитие технологии обработки сверхзвуковыми струями жидкости различного состава // Изв. ТулГУ. Сер. Машиностроение / Р.А. Тихомиров, Е.Н. Петухов, Д.В. Кравченко. – 2000. Вып. 5. – с. 63–68.
83. Шпилев, В.В. Моделирование закручиваемой гидроабразивной струи при гидроабразивном резании / В.В. Шпилев, М.К. Решетников, Н.Н. Береда // Вестник СГТУ. –2011. № 2 (56), – с. 163-168.
84. Юсубов, Н.Д. Повышение эффективности многоинструментной обработки на станках-автоматах токарной группы: / Автореферат дисс. на соиск. докт. техн. наук. / – Баку: – 2009. – 45 с.
85. Яглицкий Ю.К. Моделирование технологического процесса гидроабразивной резки в судостроении // ВІСНИК НТУ "ХПІ", – 2018. № 45 (1321). – с. 78-86.
86. Ablyaz T.R., Vil'deman V.E., Muratov K.R. et al. Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining // Russian Engineering Research, – 2018 – Vol. 39 – Issue 10 – pp. – 892-894.
87. Analysis of acoustic emission emerging during hydroabrasive cutting and options for indirect quality control /Hloch, S., Valíček, J., Kozak, D., Tozan, H.,

- Chattopadhyaya, S., Adamčík, P. // The Int. J. of Adv. Manuf. Techn. – 2013. – Vol. 66. – pp. 45–58.
88. Aurich J. Analysis, control and removal / J.Aurich, D.Dornfeld, P.Arrazola, V.Franke [and others]. University of California Berkeley, Berkeley: – 2009. – 545 p.
89. Bakhshaliev V.I.: Mechanics of Piston Machines. Lambert Academic Publishing, – Germany: – 2011, – 320 p. (Monograph).
90. Bazenov G.M. Water-Jet Cutting of Glass Sheet / G.M.Bazenov, G.T. Itybaeva, A.Zh. Kasenov [and others] // Russian Engineering Research, Moscow: – 2022, № 10, – pp. 1045-1048.
91. Chao, J., Geskin E.S. Experimental study of the striation formation and spectral analysis of the abrasive waterjet generated surfaces // In: Hashish M (ed) Proc. 7th Amer. Water Jet Conf. Vol. 1, Water Jet Techn. Ass., St. Louis, –1993. – pp. 27 - 41.
92. Cruz, C., Kozak, J., Rajurkar, K.P. “Study of Rotary Ultrasonic Machining of Cryogenically Treated Ceramics,”Int. Symp. for Electro Machining XI, Lausanne, Switzerland: – 1995. – pp. 911-920.
93. Davitashvili N., Bakhshaliev V. Dynamics of Crank-Piston Mechanisms. Springer Publisher, – 2016. – 242 p.
94. Gostimirovic M. Evolutionary multi-objective optimization of energy efficiency in electrical discharge machining / M.Gostimirovic, V.Pucovsky, M.Sekulic [and others] // J Mech Sci Technol 32(10). – 2018. – pp. 4775-4785.
95. Gostimirovic, M. Evolutionary optimization of jet lag in the abrasive water jet machining / M.Gostimirovic, V.Pucovsky, M.Sekulic [and others] // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2019, 101, – pp. 3131-3141.
96. Hashish, M. Water Jet Machining Process// Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. A.Y.C. Nee (ed.), Springer-Verlag London: – 2015. – pp.1651-1686.

97. Hlaváč, L.M., Krajcarz, D., Hlaváčová, I.M., Spadlo, S.: Precision comparison of analytical and statistical-regression models for AWJ cutting. *Precision Eng.* – 2017. 50, – pp. 148-159.
98. Hloch, S., Valíček, J. Prediction of distribution relationship of titanium surface topography created by abrasive waterjet // *International Journal of Surface Science and Engineering.* – 2011. Vol. 5, No. 2-3. 5: – pp. 152-168.
99. Hloch S. Analysis of acoustic emission emerging during hydro abrasive cutting and options for indirect quality control / S.Hloch, J.Valíček, D.Kozak, [and others] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* – 2013, Vol. 66, – pp. 45–58.
100. Itybayeva G.T. Processing of flat glass/ G.T.Itybayeva, G.M.Bazhenov, A.Zh.Kasenov [and others] // *BULLETIN of L.N. Gumilyov ENU. Technical Science and Technology Series.* – 2015. – № 1(138)/2022. – p. 34-43.
101. Jain, V.K., Adsul, S.G. Experimental investigations into abrasive flow machining (AFM). *Int J Mach Tools Manuf* 40(7): – 1999/ – pp. 1003–1021.
102. Khan M.A., Gupta K. Machining Ni-Cr-Fe based superalloy using abrasive water jet cutting process and its surface studies//*Materials Today: Proceedings.* – 2019, Volume 19, Part 5, – pp. 2139-2143.
103. Köhler H., Stoye H., Weyrauch T., Boye A., Mauermann M., Majschak J-P. Study on the Application of Cleaning Models From High Speed Water Jets to the Working Ranges of CIP-Processes / H.Köhler, H.Stoye, T.Weyrauch [and others] // *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette.* – April 2016. 23(2): – pp. 349-355.
104. Li W.Y. A surface roughness model in radial-mode abrasive waterjet turning for high-tensile steels / W.Y.Li, H.T.Zhu, J.Wang [and others] // *Applied Mechanics and Materials.* – 2014.V. 483. – pp. 177-181.
105. Liu H.T. Advanced abrasive waterjet for multimode machining, abrasive technology - characteristics and applications / H.T Liu, V.Cutler, C.Raghavan [and others] // *Anna rudawska. Intech Open* – 2018. –pp. 39-64.

106. Lv Z. Investigation on flow field of ultrasonic assisted abrasive waterjet using CFD with discrete phase model / Z.Lv, R.Hou, Y.Tian [and others] // Int J Adv Manuf Technol: – 2018, 96(1-4) – pp. 963-972.
107. Nee, Andrew Y.C. Editor. “Handbook of manufacturing engineering and technology”. Springer Reference. – London: – 2015. – pp. 410-445.
108. Orel, V.N. Povyishenie effektivnosti gidrostruynogo rezaniya ispolzovaniem sredstv upravlyaemogo treschinoobrazovaniya/ V.N.Orel, V.T.Schetinin, A.F. Salenko [and others]//[The use of controlled cracking to improve the efficiency of waterjet cutting]. Eastern European Journal of Enterprise Technology, – 2016, 1, 7 (79), – pp. 45-56.
109. Radovanovic, M. Multi-Objective Optimization of Abrasive Water Jet Cutting Using MOGA. Procedia Manuf. – 2020, 47, – pp. 781–787.
110. 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.
111. 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.
112. 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.
113. 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.

114. 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.
115. 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.
116. Songyong L.I.U. et al. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes / Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2015; 28; 3; – pp. 607–617.
117. Tamarkin, M.A., Tikhonov A.A. Tishchenko E.E. Metal removal in hydroabrasive machining. Russian Engineering Research, Moscow: – 2014, Vol. 34, No. 3, – pp. 175–177.
118. Vasanth S. Analysis of Process Parameters on Machining Titanium (Ti-6Al-4V) Alloy Using Abrasive Water Jet Machining Process / S.Vasanth, T.Muthuramalingam, P.Vinothkumar [and others] // Performance. Procedia CIRP. – 2016. V. 46. – pp. 139-142.
119. Yang, G. Advances in future manufacturing engineering.//International Materials Science Society. – Kowloon Hong Kong: –2014. – pp. 245-335.
120. Yuvaraj, N., Kumar MP. Cutting of aluminium alloy with abrasive water jet and cryogenic assisted abrasive water jet: a comparative study of the surface integrity approach. Wear – 2016. 362. – pp.18–32.
121. Yuvaraj, N., Kumar MP., Mugilvalavan, M., Shakeel Ahmed Liyakath Ali Khanc. Abrasive Water Jet Machining process: A state of art of review / N.Yuvaraj, M.P.Kumar, M.Mugilvalavan [and others] // Journal of Manufacturing Processes/ – 2020. Vol. 49. – pp. 271-322.
122. Zeng J., Heines R., Kim T.J. Characterization of energydissipation, phenomena in abrasive waterjet cutting //In: Labus T J (ed) Proc. 6th Amer. Water Jet Conf, Water Jet Techn. Ass., St. Louis, – 1991. – pp. 163 – 177.

123. Zeng J., Munoz J. P. Intelligent Automation of AWJ Cutting for Efficient Production. Proc. of the 12th Int. Symp on Jet Cutting Technology, BHRA. Rouen, – France: – 1994, – pp. 401–408.
124. Fritz, A.H., Schulze, G., Fertigungstechnik. Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, – 2015, Vol. 11, – 527 seit.
125. Hörbinger, M. Wasserstrahlschneiden. Verfahrensmöglichkeiten und Vergleich mit alternativen industriellen Trennverfahren. GRIN Verlag; 3. Edition (22. Juni 2011). – 2011, – 48 seit.
126. Kaufeld, M., Pude F., Linde M: ConSus – DAs Wasser-Abrasiv-Suspensionstrahl-System mit kontinuierlicher Abrasivmittelzufuhr. In: studium.hs-ulm.de. Ingenieur-Spiegel. Band 3-2019. Public Verlagsgesellschaft und Anzeigenagentur GmbH, Bingen, – seit. 23–25.
127. Kolb, M. Wasserstrahlschneiden. Materialbearbeitung mit einem Hochdruckwasserstrahl, – 2006. 70 seit.
128. Risse. Fertigungsverfahren der Mechanik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik. Springer, – 2012, – pp. 553. www.springer-vieweg.de.
129. Wälder K., Wälder O. Statistische Methoden der Qualitätssicherung, München, Wien, Carl Hanser Verlag, – 2013. – 200 seit.
130. Wichmann S. Schneiden mit dem Wasserstrahl. Masterthesis, BTU Cottbus – Senftenberg, – 2014, – seit. 38.
131. Will, D., Gebhardt, Norbert. Hydraulik. Grundlagen, Komponenten, Schaltungen. (German Edition) Springer Verlag 5th edition (January 1, 2011). Springer. – Berlin Heidelberg: – 2011. – 521 seit.
132. https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=dab57d81853c42089bb859b690d517e2_en
133. <https://temir.ru/product/gidroabrazivnaya-rezka/portalnye-stanki-idroabrazivnoy-rezki/portalnyy-stanokgidroabrazivnoy-rezki-head-waterjet/>
134. <https://www.waterjetsweden.com/de/produkte/fivex>
135. <https://uni-kat.pl/waterjet/?lang=de>
136. <https://k2tool.ru/catalog/6280-head-waterjet-2030>

- 137. <https://barsjet.ru/machines/BarsJet2060/>
- 138. <https://barsjet.ru/machines/BarsJet2515/>
- 139. <https://barsjet.ru/software/barsjet-cnc/>
- 140. https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=dab57d81853c42089bb859b690d517e2_en
- 141. <https://www.hardsteel.com.ua/wpcontent/uploads/2019/02/hardoxwearplate155rusv22021-2.pdf>
- 142. <https://hardpart.ru/materials/hardox/h500/>
- 143. https://www.cltradeservices.de/?gclid=Cj0KCQjwib2mBhDWARIsAPZUnnSAPS9okqfAMnT4ZaKpye_y1p3slklDsfzZv_A0ytCCPCObUrg76UaAjJIEALw_wcB
- 144. <https://w-cut.su/info/articles/gidrorezka/gidroabrazivnaya-rezka/>
- 145. <https://www.flowwaterjet.com/waterjet-products/dynamic-waterjet-xd>

Əlavə 1. Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi



“Təsdiq edirəm”

“İqlim EİM” MMC -nin
İqlim İdarəetmə
Şöbəsinin direktoru

Rauf Kazimov

Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi haqqında

AKT

Biz, “İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin baş mühəndisi Elmar Əliyev, “İqlim EİM” MMC-nin İqlim idarəetmə şöbəsinin baş texnoloqu Nazirabdulla Abdullayev, Azərbaycan Texniki Universitetinin (AzTU) “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrasının müdiri t.e.d., professor Nizami Yusubov və AzTU-nun “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrasının doktorantı Samir Əmirli AzTU və Brandenburg Texniki Universitetində yerinə yetirilmiş hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrləri və təklif edilən yeni kəsmə üsulunun istehsalatda tətbiqi ilə əlaqədar aşağıdakı aktı tərtib edirik:

Təklif edilən yeni hidroabraziv kəsmə texnoloji üsulunun silahların konstruksiyasında mövcud olan hissələrin qapaq, gövdə, sipərlərin istehsalı üçün tətbiq edilən X12÷X12M poladlarından hazırlanan ştampların matris və puansonların pəstahlarının kəsilməsində tətbiq edilmiş və aşağıdakı nəticələr alınmışdır.

- emal olunmuş səthlərin kələ-kötürlükləri $R_a=2,5\div3,75$ mkm;
- emal dəqiqliyi və ölçü meyillənmələri $0,01\div0,06$ mm, yəni mövcud texnoloji proseslərin 2÷2,5 dəfə yüksək alınır.
- Xromlu və xrom-nikelli poladların kəsilməsində kəsiyin perpendikulyarlığı 0,02mm alındığı üçün pəstahın səthindən çıxarılan emal payının qiymətinin 4 dəfə azaltmağa imkan vermişdir.
- təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, xomlu və xrom-nikelli poladlardan hazırlanan ştampların hidroabrazivlə kəsilməsində səthin mikrobərkliyi 15÷20 % yüksəlir, ona görə də bu detalların uzunömürlüyü 20 % - ə qədər artır.
- Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi hesabına şərti iqtisadi səmərə 40000 AZN olmuşdur.

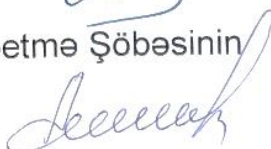
Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi ilə əlaqədar şərti iqtisadi səmərəliliyinin hesabatı akta əlavə olunur.

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
baş mühəndisi



Elmar Əliyev

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
baş texnoloqu



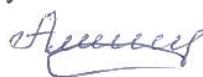
Nazirabdulla Abdullayev

AzTU-nun “Maşınqayırma texnologiyası”
kafedrasının müdiri t.e.d., professor



Nizami Yusubov

AzTU-nun “Maşınqayırma texnologiyası”
kafedrasının doktorantı



Samir Əmirli

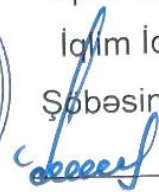


“Təsdiq edirəm”

“İqlim EİM” MMC -nin

İqlim idarəetmə

Şöbəsinin direktoru

 Rauf Kazimov

Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda tətbiqi ilə əlaqədar şərti iqtisadi səmərəliliyinin

HESABATI

“İqlim EİM” MMC-nin silah hissələrinin ştamplanması üçün tətbiq edilən ştampların kəsici, formalaşdırıcı detalların yeni hidroabrazivlə kəsmə üsulunun tətbiqi ilə alınan şərti iqtisadi səmərəliliyə aşağıdakı müddəalar daxil edilmişdir.

1. Emal payının azalması hesabına şərti olaraq bir ştamp üçün orta hesabla 1,5 kq qənaət olur.
2. Emal olunan səthin keyfiyyəti 30-35 % artdığı üçün əlavə texnoloji proseslərin yerinə yetirilməsinə ehtiyac qalmır.
3. Ştampın uzunömürlülüüyü 15-20 % artır.
4. Məhsuldarlıq 25 % artır.

Bunları nəzərə alaraq 100 ədəd ştampın istehsalında yeni hidroabraziv texnoloji prosesinin tətbiqindən alınan şərti iqtisadi səmərənin hesabı aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Ştampın adı ölçüsü və sayı	Metala qənaət, Ümumi çəkisi	Qiyməti	Məhsuldarlığın artımı 25%,	Uzun ömürlülük	İqtisadi səmərə
ədəd	kq	AZN	AZN	motosaat	AZN
100	4	1500	400	15-20 %	40000

Beləliklə, 100 ədəd ştampların istehsalında yeni hidroabraziv texnoloji prosesinin tətbiqindən alınan şərti iqtisadi səmərə 40000 AZN olmuşdur.

Komissiya Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda istifadə edilməsini məqsəduyğun sayır.

Beləliklə, 100 ədəd ştampların istehsalında yeni hidroabraziv texnoloji prosesinin tətbiqindən alınan şərti iqtisadi səmərə 40000 AZN olmuşdur.

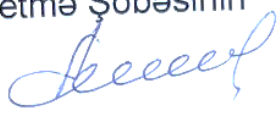
Komissiya Hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emal prosesinin rejim parametrlərinin istehsalatda istifadə edilməsini məqsədəuyğun sayır.

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
baş mühəndisi



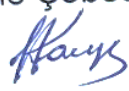
Elmar Əliyev

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
Baş texnoloqu



Nazirabdulla Abdullayev

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
baş konstruktornun müavini



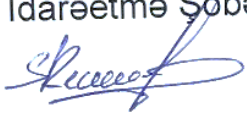
Elçin Qasımov

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
iqtisadçısı



Filman Hökməliyev

“İqlim EİM” MMC-nin İqlim İdarəetmə Şöbəsinin
mexaniki sexinin rəsi



Ramil Səfərli

Əlavə 2. “Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi” mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin eksperimental təcrübələrinin həyata keçirilməsi

BTU Cottbus - Senftenberg • Postfach 10 13 44 • 03013 Cottbus

M.Eng Samir Amirli

Fachgebiet Werkzeugmaschinen
Prof. Dr.-Ing.habil.Dr.h.c.
Sylvio Simon

Ansprechpartner
Sylvio Simon
Fachgebietsleiter
T +49 (0) 355 / 69 4851
F +49 (0) 355 / 69
E Sylvio.Simon@b-tu.de

Bestätigung über die Durchführung theoretischer und experimenteller
Untersuchungen im Rahmen der Dissertationsarbeit zum Thema

Cottbus, 09.Januar 2025

„Erhöhung der Qualitätsindikatoren für schwer zu verarbeitendes
Material durch hydroabrasive Bearbeitung“

Bestätigung

Wir, der Leiter des Fachgebiets „Werkzeugmaschinen“ der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU), Professor S. Simon, der Mitarbeiter des Labors des Fachgebiets „Werkzeugmaschinen“ der BTU, M.Ing., Steffen Wichmann, Technische Universität Aserbaidschan (AzTU) Professor Nizami Yusubov, Leiter der Abteilung „Maschinenbautechnologie“ und Doktorand der Abteilung „Maschinenbautechnologie“ der AzTU erstellen die Bestätigung auf der Grundlage der Ergebnisse der Dissertationsarbeit des Doktoranden Samir Amirli.

1. im Labor des Fachgebietes „Werkzeugmaschinen“ der BTU Cottbus-Senftenberg wurden die Experimente an der CNC-Maschine FLOW Cut durchgeführt.
2. Gemäß dem Arbeitsplan der genehmigten Dissertation wurde untersucht, dass die Parameter: Rauheit, Form- und Lageabweichung des Abschnitts, Mikrohärte der bearbeiteten Oberfläche, Abrasivkörnung und die daraus resultierende Größe des Spans, Durchmesser der Strahldüse in Abhängigkeit von den Parametern des Hydroabrasiv- Schneidmodus stark variieren. Die erzielten Ergebnisse sind in den entsprechenden Bildern, Tabellen und Grafiken der Dissertation abgebildet.
3. Rauheit und Welligkeit der Oberfläche, die beim Wasserstrahl-schneiden entstehen, wurden im Fertigungsmesstechniklabor mit dem Gerät „Jenoptik“ ermittelt, die Körnigkeit des Abrasives sowie die Form und Abmessungen des resultierenden Spans mit dem Mikroskop „Nikon

Zentralcampus Cottbus
BTU Cottbus - Senftenberg
Platz der Deutschen Einheit 1
03046 Cottbus
Deutschland

Senftenberg
BTU Cottbus - Senftenberg
Universitätsplatz 1
01968 Senftenberg
Deutschland

Cottbus-Sachsendorf
BTU Cottbus - Senftenberg
Lipezker Straße 47
03048 Cottbus
Deutschland

www.b-tu.de

CM3-10A" und Leica M80-Makroskop, der Durchmesser der Nadelspitze am „Mitudojo TM“-Gerät, die Form- und Lageabweichung des Schnitts wurden am „Steinbichler“-Scanner mit Geomagic Control-Software und die Mikrohärte am „Heckert“-Scanner Modellgerät untersucht.

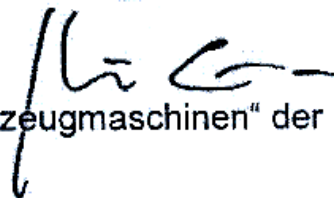
4. Basierend auf den Forschungsergebnissen wurde eine neue Technologie entwickelt und in der Praxis getestet, um die Genauigkeit der Schnittfläche zu verbessern und die Rechtwinkligkeit der Seitenfläche sicherzustellen.

5. Die vom Dissertationskandidaten Samir Amirli durchgeführten wissenschaftlichen Forschungsarbeiten und Experimente decken alle Anforderungen für die Doktorarbeit der Höheren Bescheinigungskommission unter dem Präsidenten der Republik Aserbaidschan vollständig ab, und es wird empfohlen, die Dissertation der Verteidigung vorzulegen.

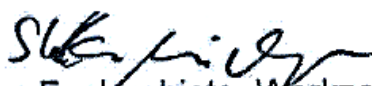
Brandenburgische Technische Universität
Cottbus – Senftenberg
Büro der Vizepräsidenten
Platz der Deutschen Einheit 1
03046 Cottbus



Vizepräsident für Internationales der BTU Cottbus – Senftenberg,
Prof. Wolfgang Berger



Leiter des Fachgebiets „Werkzeugmaschinen“ der BTU
Professor Sylvio Simon



Mitarbeiter des Labors des Fachgebiets „Werkzeugmaschinen“ der BTU
M.Eng., Steffen Wichmann



Leiter der Abteilung „Maschinenbautechnologie“ der AzTU,
Professor Nizami Yusubov

Doktorand der Abteilung „Maschinenbautechnologie“ der AzTU,
M.Eng., Samir Amirli



Magistr müh. Samir Əmirli

“Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi” mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəzəri və eksperimental təcrübələrin aparılması haqqında

AKT

Biz, Brandenburg Texniki Universitetinin (BTU) “Metalkəsən dəzgahlar” kafedrasının müdiri t.e.d., professor S.Simon, BTU-nun “Metalkəsən dəzgahlar” kafedrasının laboratoriya müdiri, M.Ing., Steffan Wichman, Azərbaycan Texniki Universitetinin (AzTU) “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrasının müdiri t.e.d., professor Nizami Yusubov və AzTU-nun “Maşınqayırma texnologiyası” kafedrasının doktorantı Samir Əmirli dissertasiya işinin yerinə yetirilməsinin nəticələri haqqında aktı tərtib edirik.

1. Doktorant Samir Amirli BTU-nun “Metalkəsən dəzgahlar” kafedrasının laboratoriyasında təcrübələri FLOW Gut modeli CNC dəzgahında aparmışdır.

2. Təsdiq olunmuş dissertasiyanın iş planına əsasən hidroabraziv kəsmə üsulu ilə HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli poladın emalında yaranan kələ-kötürlüklərin parametrləri, kəsiyin forma və ölçü xətalrı, emal olunmuş səthin mikrobərkliyinin dəyişmə qanununa uyğunluqları, abrazivin dənəvəriliyi və çıxan yonqarın ölçüləri, müştüyün ucluğunun diametri hidroabraziv kəsmə rejimi parametrlərindən asılı olaraq geniş miqyasda öyrənilmişdir. Alınmış nəticələr dissertasiyada müvafiq şəkillər, cədvəllər və qrafiklərdə əksini tapmışdır.

3. Hidroabraziv kəsmədə alınan səthin kələ-kötürlüyü, dalğavariliyi laboratoriyada “Jenoptik” cihazında, abrazivin dənəvəriliyi və çıxan yonqarın forma və ölçüləri “Nikon CM3-10A” mikroskopu və Leisa M80 modeli makroskopda, müştüyün ucluğunun diametri “Mitudoym TM” cihazında, kəsiyin forma və ölçü xətalrı Geomagic Control program təminatı ilə təchiz edilmiş “Steinbichler” skaner cihazında, mikrobərkliyi isə “Heckert” modeli cihazda tədqiq edilmişdir.

4. Tədqiqatlardan alınmış nəticələr əsasında kəsilən səthin dəqiqliyini yüksəltmək üçün və yan səthin perpendikulyarlığını təmin etmək üçün yeni texnologiya işlənmiş və təcrübədə sınaqdan keçirilmişdir.

5. Dissertant Samir Əmirlinin yerinə yetirdiyi elmi tədqiqat işləri və eksperimentlər Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Ali Attestasiya Komissiyasının fəlsəfə doktoru dissertasiyasına qoyulan bütün tələblərini tam əhatə edir və dissertasiyanın müdafiəyə təqdim edilməsi tövsiyə edilir.

BTU Cottbus-Senftenbergin Beynəlxalq məsələlər üzrə

Vitze Prezidenti, professor (imza)

Wolfgang Berger

BTU-nun "Metalkəsən dəzgahlar"

kafedrasının müdiri, professor (imza)

Sylvio Simon

BTU-nun "Metalkəsən dəzgahlar"

kafedrasının labarotoriya müdiri, M.Ing., (imza)

Steffan Wichman

AzTU-nun "Maşınqayırma texnologiyası"

kafedrasının müdiri, professor (imza)

Nizami Yusubov

AzTU-nun "Maşınqayırma texnologiyası"

kafedrasının doktorantı (imza)

Samir Əmirli

Əlavə 3. “Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi” mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəticələrinin tədris prosesində tətbiqi

“Təsdiq edirəm”
Azərbaycan Texnik Universitetinin
Elm və innovasiyalar üzrə prorektoru,
professor

Sübhan Namazov
 **2024-cü il**

Azərbaycan Texniki Universitetinin (AzTU) "Maşınqayırma texnologiyası" kafedrasının doktorantı Əmirli Samir Fariz oğlunun "Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi" mövzusunda yerinə yetirilən dissertasiya işinin nəticələrinin tədris prosesində tətbiqi barədə

TÖVSIYƏ

AzTU-nun "Maşınqayırma texnologiyası" kafedrasının doktorantı Əmirli Samir Fariz oğlunun "Hidroabraziv emal üsulu ilə materialı çətin emal olunan detalların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi" mövzusunda dissertasiya işinin nəticələrinin AzTU-nun "Maşınqayırma texnologiyası" kafedrasında bakalavriat səviyyəsində 050622-"Maşın mühəndisliyi" ixtisası üzrə "Maşınqayırmada texnoloji proseslərin layihələndirilməsi" və magistratura səviyyəsində 060612-"Maşın mühəndisliyi" ixtisası üzrə "Tədqiqat üsulları" fənlərinin tədrisində istifadə edilməsi tövsiyə edilir.

Dissertasiya işinin aşağıdakı tədris prosesində istifadəsi nəzərdə tutulur:

- materialların hidroabrazivlə kəsmə prosesinin yeni yanaşma ilə həlli, yaranan qüvvələrin hesablanma metodikası;
- xrom-nikelli poladların hidroabraziv kəsmədə yonqarəmələgəlmənin mexanizminin müəyyən edilməsi;
- xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində emal səthinin kələ-kötürlüyünün, forma xətlərinin, mikrobərkliyin emal rejimi parametrlərindən asılılıqlarının müəyyən edilməsi;
- kəsilən materialların qalınlığından asılı olaraq, formalaşan səthin baza səthinə nəzərən perpendikulyarlığının alınmasının yeni kəsmə sxeminin işlənməsi və texnoloji parametrlərin hesablanması metodikasının öyrənilməsi.

"Maşınqayırma texnologiyası" kafedrasının 18 dekabr 2024-cü il tarixli iclasında müzakirə edilərək təsdiq edilmişdir (protokol № 04).

AzTU-nun "Yüksək Təhsil İnstitutunun"
direktoru, i.ü.f.d., dosent



Anar Eminov

AzTU-nun "Maşınqayırma və robototexnika" fakültəsinin
dekanı, t.e.n., dosent



Malik Qarayev

AzTU-nun "Maşınqayırma texnologiyası" kafedrasının
müdiri, t.e.d., professor



Nizami Yusubov

İXTİSARLAR VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR

RPI – rəqəmli proqramla idarə olunan;

CET-karbonun miqdarı;

CEV-karbonun miqdarı;

Δ - detalın kəsilən konturunda ölçü dəqiqliyi;

H_{μ} - emal olunmuş səthdə mikrobərkliyin artırılması;

t- emal vaxtı;

Q - Kəsmənin məhsuldarlığı;

F_i - çıxış parametrləri;

R_a –kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü mkm;

R_z , - kələ-kötürlüyün maksimum orta hündürlüyü mkm;

Δ - ölçü müyillənməsi mkm;

H_{μ} - mikrobərklik MPa;

$x_1, x_2, \dots, x_i$ -axtarılan amillər;

d_m - müştüyün diametri;

h -müştükdən emal olunan səthə qədər olan məsafə;

K-abraziv dənələrinin konsentrasiyası;

P -su şırnağının təzyiqi, Mpa;

d_c - müştüyün kanalının diametri, mm;

h -müştüklə emal olunan səth arasındakı məsafə, mm;

σ_p - materialın möhkəmliyi;

v_m –su şırnağının mərkəz oxundakı sürəti;

v_0 – su şırnağının başlanğıc sürəti;

p_2 – abraziv dənələrinin sıxlığı;

F – su şırnağının dairəvi en kəsiyinin sahəsi;

A_2, C_2, D_2, E_2 - əmsallar;

l_0 –su şırnağının implusu;

d_{cmp} - hidroabraziv su şırnağının emal səthinə düşən diametri;

H - müştüyün yan səthindən emal olunan səthə qədər olan hündürlük;

R – qarışdırıcı borunun daxili radiusu;

B_2 , - əmsal;

k - veriş;

h_{max} – abraziv dənələrinin materiala girmə dərinliyi;

k_m - əmsal olub, emal prosesində qonşu dənələrin təsirini nəzərə alır;

d -abraziv dənəsinin orta diametri;

k_d – abraziv dənələrinin formasının kontakt səthin sahəsinə təsirini nəzərə alan əmsal;

c – kontakt səthinin yüklənmə keyfiyyətini nəzərə alan əmsal;

σ_s – materialın sıxlıq həddi;

p_1 - mayenin sıxlığı;

q – bir zərbə nəticəsində abrazivin çıxardığı metal;

k_c – yonqar əmələgəlmə əmsalı;

p_d – emal olunan materialın sıxlığıdır.

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

Q - suyun bir saniyədə sərfiyyatı l/s ;

v_o –su şırnağı ilə abrazivin axma sürəti;

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.

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 verişi $m/dəq$;

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

x, y, z -hədlərin qüvvət qiymətləridir;

$\bar{y}_i$ –amilin üç təkrar təcrübədən alınan qiymətlərinin orta riyazi həddidi;

x - giriş parametrlərinin qiymətləri;

b - polinomların reqresiyya əmsalıdır.

x_1, x_2, x_3 - faktorların ölçüsüz qiymətləri;

y_i -çıxış parametrləri;

b_j – reqresiv əmsaldır;

α = yan səthin meyillənmə bucağı.