

UDC 621.9

DOI 10.52171/2076-0515\_2024\_16\_04\_27\_33

## **Research of the Dependence of Microhardness on Cutting Modes during Waterjet Treatment of Hardox-500 Chrome-Nickel Steel**

**S. Simon<sup>1</sup>, N.D. Yusubov<sup>2</sup>, S.F. Amirli<sup>2</sup>, F.G. Amirov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg (Universitätsplatz 1, 03046 Cottbus, Germany)*

<sup>2</sup>*Azerbaijan Technical University (Huseyn Javid ave. 25, Baku, AZ1073, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Amirov Fariz / e-mail: fariz.amirov@aztu.edu.az

### **Abstract**

In the article, it is intended to investigate the change of the surface microhardness in the cutting of machine parts made of HARDOX-500 steel material with hydroabrasive depending on the cutting mode elements, i.e., the change of the speed of the longitudinal movement in cutting by taking the water jet and the abrasive to the contact zone at a pressure of 3500 bar. The article also studied the microhardness of the surface of the part cut with hydroabrasive and the microhardness of the surface after polishing the material of the part with the K60 grit polishing wheel, as well as the microhardness of the surface of the part cut with hydroabrasive and the surface of the part after polishing with the K120 abrasive wheel. Measurements were measured using a HECKERT device at six points on the surface of the pastry. The measuring device is equipped with an appropriate computer program, and the measurement operation is automatically calculated using this software, based on the establishment of appropriate tables and graphs.

**Keywords:** hydroabrasive processing, micro-forging, hydroabrasive processing, high pressure, cutting operation, plastic deformation.

**Received** 04.04.2024

**Revised** 11.12.2024

**Accepted** 16.12.2024

### **For citation:**

*S. Simon, N.D. Yusubov, S.F. Amirli, F.G. Amirov*

[Research of the Dependence of Microhardness on Cutting Modes during Waterjet Treatment of Hardox-500 Chrome-Nickel Steel]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 4, pp. 27-33 (in Azerbaijani)*

## **Hardox-500 markalı xrom-nikel poladının hidroabrazivlə emalında mikrobərkliyin kəsmə rejimlərindən asılılığının tədqiqi**

**S. Simon<sup>1</sup>, N.D. Yusubov<sup>2</sup>, S.F. Əmirli<sup>2</sup>, F.Q. Əmirov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Brandenburg Texniki Universiteti Cottbus-Senftenberg (Universitätsplatz 1, 03046 Cottbus)*

<sup>2</sup>*Azərbaycan Texniki Universiteti (H.Cavid pr. 25, Bakı, AZ 1073, Azərbaycan)*

### **Xülasə**

Məqalədə HARDOX-500 polad materialından hazırlanan maşın hissələrinin pəstahlarının hidroabrazivlə kəsilməsində səthdə yaranan mikrobərkliyin dəyişməsinin kəsmə rejim elementlərindən, yəni su şırnağı ilə abrazivin kontakt zonasına 3500 bar təzyiqlə verilməsini götürməklə kəsmədə uzununa veriş hərəkətinin sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq araşdırılması nəzərdə tutulur. Məqalədə həmçinin hidroabrazivlə kəsilmiş hissənin səthinin mikrobərkliyi və həmin hissənin üst səthini K60 dənəvərlikli pardaq dairəsi ilə paradaqlamadan sonra alınan səthin mikrobərkliyi, eləcə də həmin pəstahın hidroabrazivlə kəsilən səthini və pəstahın üz səthini K120 dənəvərlikli abraziv dairəsi ilə paradaqlamadan sonra yaranan mikrobərkliyi öyrənilmişdir. Ölçmələr pəstahın səthində altı nöqtədə HECKERT cihazı vasitəsi ilə aparılmışdır. Ölçmə cihazı müvafiq kompüter proqramı ilə təchiz olunmuş və ölçmə əməliyyatı bu proqram təminatından istifadə olunmaqla avtomatik hesablanmış müvafiq cədvəl və qrafiklər qurulmasına əsaslanır.

**Açar sözlər:** hidroabraziv emal, mikrobərklik, su şırnağı, yüksək təzyiq, kəsmə əməliyyatı, plastik deformasiya.

## **Исследование зависимости микротвердости от режимов резания при гидроабразивной обработке хромоникелевой стали марки Hardox-500**

**С. Симон<sup>1</sup>, Н.Д. Юсубов<sup>2</sup>, С.Ф. Амирли<sup>2</sup>, Ф.Г. Амиров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Бранденбургский технический университет Cottbus-Senftenberg ( Universitätsplatz 1, 03046 Cottbus, Германия).*

<sup>2</sup>*Азербайджанский технический университет (пр. Гусейн Джавида, д. 25, Баку, AZ1073, Азербайджан)*

### **Аннотация**

В статье предполагается исследовать изменение микротвердости, возникающее в поверхностном слое при гидроабразивной резке заготовок деталей машин, изготавливаемых из стали марки HARDOX-500 от элементов режима резания, то есть при условии подачи струи воды под давлением 3500 бар в зону контакта с абразивом, в зависимости от изменения скорости продольной подачи при резании. В статье также изучены микротвердость поверхности детали, обработанной гидроабразивом, и микротвердость поверхности после шлифовки материала детали кругом с зернистостью K60, а также микротвердость поверхности детали, обработанной гидроабразивом и поверхность заготовки после шлифования абразивным кругом с зернистостью K120. Измерения микротвердости проводили с помощью прибора HECKERT на поверхности заготовки в шести точках. Измерительный прибор оснащен соответствующей компьютерной программой. Операция измерения автоматически рассчитывается с помощью этого программного обеспечения, на основе чего создаются соответствующие таблицы и графики.

**Ключевые слова:** гидроабразивная обработка, микротвердость, водяная струя, высокое давление, операция резания, пластическая деформация.

## Giriş

Avropa maşınqayırma sənayesində, o cümlədən Almaniyada HARDOX-500 markalı xrom-nikel tərkibli yeni poladlardan maşın hissələri istehsal edilir. Yeni polad markasının digər oxşar poladlardan fərqli cəhəti ondan ibarətdir ki, HARDOX-500 poladının əyilməyə, qaynaqlanmaya və yeyilməyə qarşı dayanıqlıq xassəsi yüksəkdir. Bu poladların nominal bərkliyi 500 HBW-ə malik olduğu üçün yeyilməyə qarşı yüksək dayanıqlığa malikdir. Ona görə də bu poladdan hazırlanan maşın hissələri yüksək yüklənmə qabiliyyətini saxlamaqla yanaşı, poladın mexaniki emal olunma qabiliyyətini qoruyub saxlaya bilər. HARDOX-500 markalı poladlardan sənayedə qalınlığı 4-103 mm, eni 3350 mm və uzunluğu 14630 mm ölçüdə pəstahlar istehsal olunur [1].

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 texnologiyalar 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. Hidroabrazivlə pəstahların doqranmasında tətbiq edilən mexaniki kəsmə prosesi su şırnağına qarışdırılmış abraziv kəsici dənələrinin pəstahın səthinə yüksək təzyiq və sürətlə vurulması nəticəsində yerinə yetirilir [2-7].

Bu halda kəsmə prosesi ifrat soyutma şəraitində (axan su şırnağında) getdiyi üçün pəstahdan yonqarəmələgəlmədə ayrılan istilik su şırnağı ilə nəql olunduğuna görə istehsal olunan hissənin səthində temperatur aşağı səviyyədə qalır ki, bunun nəticəsində də metalda ilkin mexaniki xassələrin dəyişməsi baş vermir.

Tədqiqatlarımızdan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə poladların doqranmasında maşın hissələrinin istehsalında yonqarəmələgəlmə və onların kəsmə zonasından nəql olunması abraziv dənələrinin zərbələri ilə müşahidə olunur. Abraziv dənələrinin kəsilmə səthə zərbəli təsiri nəticəsində yonqarəmələgəlmədə plastik deformasiyaların yaranmasına və emal olunmuş poladın mikrobərkliyinin dəyişməsinə səbəb olur. Pəstahların hidroabrazivlə doqranmasında mikrobərkliyin dəyişməsinin araşdırılması maşınqayırmanın aktual problemlərindən biri sayılır [8-15]. Yəni, metalların doqranmasında kəsilmə səthin mikrobərkliyinin dəyişməsi aparılacaq sonrakı mexaniki əməliyyatların ardıcılığına və texnologiyaların imkanlarına təsir göstərə bilər. Bu baxımdan HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə doqranmasında kəsilmə səthdə mikrobərkliyin kəsmə rejimlərindən asılılığının araşdırılması vacib amillərdən biridir.

## İşin məqsədi

Tədqiqat işinin məqsədi xrom-nikelli HARDOX-500 markalı poladdan hazırlanan maşın hissələrinin pəstahlarının kəsilməsində səthdə yaranan mikrobərkliyin dəyişməsinin kəsmə rejim elementlərindən, yəni su şırnağı ilə abrazivin kontakt zonasına verilmə sürətindən təzyiqi 3500 bar götürməklə kəsmədə uzununa veriş hərəkətinin sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq araşdırılması problemləri qoyulmuşdur.

## İşin metodikası

Eksperimental tədqiqatlar Brandenburg Texniki Universitetinin (Almaniya) "Metalkəsən dəzgahlar" kafedrasında FLOW-Gut modeli RPİ hidroabraziv kəsmə dəzgahında materialı polad HARDOX-500-dən olan pəstahın üzərində aparılmışdır. Tədqiqatlar kəsmə (doqrama) əməliyyatında qalınlığı 15 mm olan pəstahlardan istifadə etməklə aparılmışdır. Hidroabrazivlə və pardaqlama ilə hazırlanmış hissələrin səthinin mikrobərkliyi HECKERT cihazı vasitəsi ilə ölçülmüşdür. Ölç-

mə 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 (Alman standartı) abraziv dairəsi ilə, bundan sonra isə həmin səth yenidən dənəvəriliyi K120 abraziv dairəsi ilə təmiz paradaqlanmış və orada yaranan mikrobərkliklər hər iki mərhələdə təyin edilmişdir. Eləcə də, həmin pəstahın hidroabrazivlə kəsilməsinə səthində və hidroabraziv kəsmədən sonra həmin səthi dənəvəriliyi K120 abraziv dairəsi ilə paradaqlamadan sonra mikrobərklikləri 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 mikrobərkliyin emal olunmuş səthdə yaranması araşdırılmışdır.

### **Alınmış nəticələrin təhlili**

Pəstahın ilkin halında üzərində olan mikrobərkliyin ölçülməsi göstərmişdir ki, onun səthi abraziv dairəsi ilə təmizləndikdən sonra altı müxtəlif nöqtələrdə alınmış mikrobərkliyin qiymətləri HV üzrə 432-510 arasında dəyişir. Alınmış nəticələr cədvəl-də HX26,7-3\_3.2 və şəkil 1 əyri 4-də verilmişdir.

Tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, pəstahın səthini iki müxtəlif üsulla paradaqladıqdan sonra orada yaranan mikrobərklik bir-birindən xeyli fərqlənir. Pəstahın səthi K120 abraziv dairəsi ilə paradaqlamada emal olunan xrom-nikelli poladın mikrobərkliyi 50-70 vahid artmışdır (şəkil 1, əyri 3). Pəstahın paradaqlanması nəticəsində mikrobərkliyin yüksəlməsinin səbəbi paradaqlanmış səthə abraziv dənələrinin yonqarəmələgəlmədə yaratdıqları plastiki deformasiyanın və yüksək temperaturun təsiri olur. Məlumdur ki, paradaqlama prosesində abraziv dənələri qalınlığı mikronlarla ölçülən yonqarların yaranmasına səbəb olur. Belə şəraitdə emal olunan səthdə sürtünmə, plastiki deformasi-

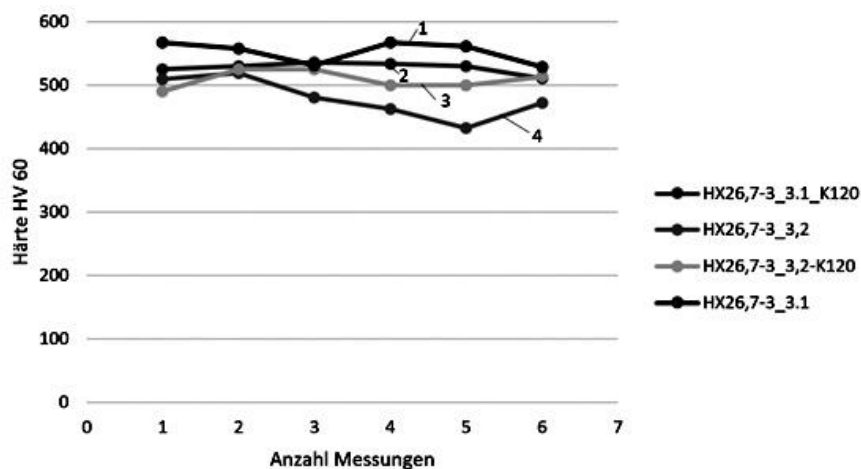
yaların paylanması və s. fiziki hadisələr emal olunan səthi fiziki xassələrinin dəyişməsinə gətirib çıxarır, yəni onun mikrobərkliyinin dəyişməsinə səbəb olur. Araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, HARDOX-500 poladının hidroabrazivlə doğranması nəticəsində kəsilmiş səthdə mikrobərklik materialın ilkin mikrobərkliyindən 80-100 vahid çox olur. Məsələn şəkil 1-də 4 əyrisi pəstahın 6 müxtəlif nöqtədə ilkin mikrobərkliyinin, 1 əyrisi isə hidroabrazivlə kəsilmiş səthi 6 müxtəlif nöqtədə mikrobərkliyinin dəyişməsinə göstərir. Bu onunla izah olunur ki, hidroabrazivlə kəsmədə (şəkil 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, bunun da 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 xətalrı kifayət qədər hissəyə qoyulmuş ümumi tələblərdən kənara çıxır. Ona görə də hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin paradaqlanması texnoloji əməliyyatının aparılmasını labüd edir. Bu baxımdan aparılmış tədqiqatların bir istiqaməti hidroabrazivlə kəsilmiş səthlərin paradaqlanmasında yaranan mikrobərkliyin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Şəkil 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 mikrobərkliklə pəstahın 6 müxtəlif nöqtələrində ölçülərək göstərilmişdir.

**Cədvəl** – Mikrobərəkliyin ölçülməsi üzrə alınmış məlumatlar

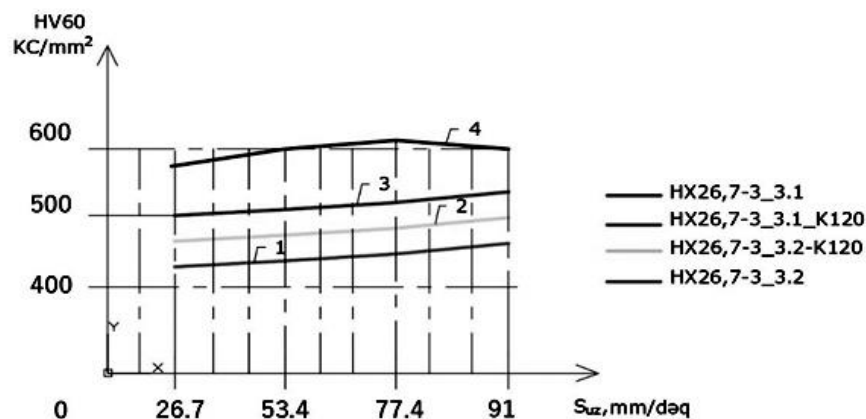
**Table** – Data obtained from the microhardness resistance measurement

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



**Şəkil 1** – HARDOX-500 markalı polad materialların emalında mikrobərəkliyin dəyişmə qrafiki

**Figure 1** – Microhardness change graph in the processing of HARDOX-500 brand steel materials



**Şəkil 2** – HARDOX-500 markalı polad materialının hidroabrazivlə emalında mikrobərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılı olaraq dəyişmə qrafiki

**Figure 2** – The change graph of the microhardness depending on the rate of movement of HARDOX-500 brand steel material with hydroabrasive treatment

Şəkil 1-dən göründüyü kimi hidroabrazivlə kəsilmiş səthin mikrobərkliyi (şəkil 1, 1 əyri) paradaqlanmış səthə nisbətən 40-50 vahid yüksəkdir. Belə səthi paradaqladıqda isə mikrobərkliyin 40-50 vahid azalması onunla izah edilir ki, paradaqlama zamanı yonqarəmələgəlmədə kontakt zonasında yüksək temperatur yaranır [16], bəzən paradaqlanan səthdə temperatur 1100-1300 °S-yə qədər yüksəlir, bunun nəticəsində hidroabrazivlə kəsilmiş səthin mikrobərkliyin aşağı düşməsi müşahidə olunur. HARDOX-500 markalı xrom-nikelli polad pəstahların hidroabrazivlə doğranması prosesində kəsmə rejimi elementlərini, yəni uzununa kəsmə sürətinin materialın mikrobərkliyinə təsiri eksperimental təcrübələrlə öyrənilərək alınmış nəticələr şəkil 2-də verilmişdir. Hər rejimlər üçün mikrobərklik 6 müxtəlif nöqtələrdə ölçülərək orta qiymətləri tapılaraq ayrılar üzərində verilmişdir.

Şəkil 2-də 1 əyrisində müxtəlif pəstahların abraziv dairəsilə (K60) təmizlənərək mikrobərkliyi ölçülmüşdür. Alınmış nəticələr orta hesabla 420-450 vahid arasında dəyişir. Şəkil 2-də 2 əyrisində verilən mikrobərkliyin qiymətləri götürülmüş poladın müxtəlif veriş sürətlərində hidroabrazivlə kəsmədən sonra səthin K120 abraziv dairəsi ilə paradaqlanmasında yaranan mikrobərklik göstərilmişdir. Alınmış nəticələr göstərir ki, uzununa

verişin qiyməti paradaqlamada artdıqca mikrobərklik monotonna yüksəlir, bu da paradaqlama prosesinin kinematik sxemindən irəli gələn fiziki hadisələrlə izah edilir. Veriş sürətinin artması kontakt zonasında təzyiqin və kəsmə qüvvələrinin yüksəlməsinə səbəb olur ki, bu da mikrobərkliyin artmasına gətirib çıxarır. Şəkil 2-də 4 əyrisi pəstahın müxtəlif veriş hərəkəti sürətilə hidroabrazivlə kəsmədə yaranan mikrobərklik verilmişdir. Buradan belə nəticədə əldə edilir ki, bütün hallarda hidroabrazivlə emal olunmuş səthin mikrobərkliyi pəstahın mikrobərkliyindən 80-100 vahid yüksəkdir. Digər əməliyyatlarda olduğu kimi, hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin sürətinin artması ilə pəstahın kəsilmiş səthinin mikrobərkliyinin yüksəlməsi müşahidə edilir. Şəkil 2-də 3 əyrisi hidroabrazivlə kəsilmiş səthin paradaqlanmasından sonra orada yaranan mikrobərkliyin veriş hərəkətinin sürətindən asılılığı verilmişdir. Tədqiqatlar göstərir ki, hidroabrazivlə kəsilmiş səthin paradaqlanması nəticəsində mikrobərklik 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. Beləliklə, aparılan tədqiqatlardan aşağıdakı nəticələr əldə edilmişdir.

## Nəticə

Xrom-nikelli poladların hidroabrazivlə kəsilməsində emal səthində kəsici abraziv dənələrinin təsirindən yonqarəmələgəlmə prosesi yüksək plastiki deformasiya şəraitində getdiyi üçün, eləcə də kəsmə zonasında ayrılan istiliyin miqdarının az olması səbəbindən materialın mikrobərkliyi ilkin hədlərinə görə 1,2-1,3 dəfə yüksəlir.

Araşdırılmalardan müəyyən edilmişdir ki, hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin qiyməti artdıqca kəsilən səthin mikrobərkliyi müvafiq olaraq monoton yüksəlir.

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, HARDOX-500 markalı poladı paradaqlama əməliyyatı ilə emal etdikdə belə, kəsilmiş səthin mikrobərkliyi 10-15 % pəstaha nisbətən yüksəlir.

## Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

## REFERENCES

1. <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox>
2. **Schulz Fritz.** Fertigungstechnik. *Springer*, 2015, Vol.11, p. 408 (*in Germany*)
3. **Risse.** Fertigungsverfahren der Mechantronik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik. *Springer*, 2012, 138 f. (*in Germany*)
4. **Tamarkin M.A., Tikhonov A.A. Tishchenko E.E.** Metal removal in hydroabrasive machining. Russian Engineering Research, 2014, vol. 34, №. 3, pp. 175–177. (*in Russian*)
5. **Tamarkin M.A., Shevcov S.N., Klimentenko A.A.** Modelirovanie processa edinichnogo vzaimodejstvija granuly svobodnogo abraziva i obrabatyvaemoj detali. *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii*, 2005, № 5. (*in Russian*)
6. **Shpilev V.V.** Povyshenie jeffektivnosti processa gidroabrazivnoj rezki listovyh detalej putem optimizacii rezhimov obrabotki i parametrov strui rabochej zhidkosti: dis. kand. tehn. nauk: 05.02.08. Saratov, 2012. 147s. (*in Russian*)
7. **Zeng J.** Intelligent Automation of AWJ Cutting for Efficient Production [Text] / J. Zeng, J. P. Munoz // Proc.of the 12th Int. Symp on Jet Cutting Technology, BHRA. Rouen. - France, 1994. - Pp. 401 - 408. (*in French*)
8. **Amirov F.G., Simon S., Steffen W., Amirli S.F., Frana K.** Determining the Accuracy of Water Pressure Processing using 3D Scanning // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. 2021. Vol.13. №.3. Pp. 38-44 (*in Azerbaijani*)
9. **Aurich J., Dornfeld D., Arrazola P., Franke V. and Min S.,** Burrs-Analysis, control and removal, Berkeley: University of California Berkeley, 2009. (*in English*)
10. **Wälder K., Wälder O.,** Statistische Methoden der Qualitätssicherung, München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2013. (*in Germany*)
11. **Marcel Kolb.** Wasserstrahlschneiden: Materialbearbeitung mit einem Hochdruckwasserstrahl, 2006, p.70 (*in Germany*)
12. **Michaela Hörbinger.** Wasserstrahlschneiden: Verfahrensmöglichkeiten und Vergleich mit alternativen industriellen Trennverfahren, 2011, p. 25 (*in Germany*)
13. **Will, Dieter/Gebhardt, Norbert.** Hydraulik. Grundlagen, Komponenten, Schaltungen. 4., revised edition. Berlin Heidelberg: Springer, 2008, p. 44 (*in Germany*)
14. **Wichmann, Steffen.** Schneiden mit dem Wasserstrahl.... Masterthesis, BTU Cottbus –Senftenberg, 2014, p. 38 (*in Germany*)
15. Hydroschneidetechnik Innovativ schneiden [Online], <http://www.hydroschneidetechnik.de/geschichte.htm>. 16.3.2014 (*in Germany*)
16. **Abbasov V.A.** Povyshenie effektivnosti profil'nogo shlifovaniya. Baku, 1996, 220 s. (*in Azerbaijani*)