

UOT 621.923.5

MÜASİR RPİ HONLAMA DƏZGAHLARINDA SƏTHİN KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN TEXNOLOJİ ÜSÜLLƏRLƏ ARTIRILMASI

¹Həsənov Y.N., ²Əziz S.Ş.

¹“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18

²“Azərbaycan Texniki Universiteti” PHŞ

AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pros., 25

E-mail: yusif_nadiroglu@mail.ru, sarvan_e@hotmail.com

Xülasə. Məqalədə gəmiqayırma sənayesində istifadə olunan yüksək dəqiqlikli detalların istehsalında istifadə olunan RPİ honlama dəzgahlarında keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Seçilmiş dəzhahın mexaniki emal imkanları, eləcə də pəstah materialının fiziki-mexaniki və texnoloji xüsusiyyətlərinin analizi əsasında səth keyfiyyətinin formalaşmasının texnoloji qanunauyğunluğu analiz edilmişdir. RPİ honlama dəzgahlarında texnoloji əməliyyatların tətbiqi zamanı səthin mikrohəndəsəsi, həmçinin səth qatı keyfiyyətinin formalaşmasına təsir göstərən əsas faktorlar analiz edilərək, optimal keyfiyyətin əldə olunması üçün emal prosesinin əsas giriş parametrlərinin təyini üzrə aparılmış təcrübələrin nəticələri təqdim edilmişdir.

Abstract. This article examines improving quality performance on CNC honing machines used to produce high-precision parts in the shipbuilding industry. Based on an analysis of the mechanical capabilities of the selected machine, as well as the physical, mechanical, and technological properties of the workpiece, the technological principles of surface quality formation are studied. The key factors influencing surface microgeometry and surface layer quality during CNC honing operations are analyzed. The results of experiments to determine the key input parameters of the machining process to achieve optimal quality are presented.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения показателей качества на станках хонингования с ЧПУ, применяемых при производстве высокоточных деталей в судостроительной промышленности. На основе анализа механических возможностей выбранного станка, а также физико-механических и технологических свойств обрабатываемого материала, изучены технологические закономерности формирования качества поверхности. Проанализированы основные факторы, влияющие на микрогеометрию поверхности и качество поверхностного слоя при выполнении технологических операций на станках хонингования с ЧПУ. Представлены результаты экспериментов по определению основных входных параметров процесса обработки для достижения оптимального качества.

Açar sözlər: RPİ honlama dəzgahı, bərklik, xüsusi təzyiq, ölçü dəqiqliyi, kələ-kötürlük

Key words: CNC honing machines, hardness, special pressure, accuracy, surface roughness

Ключевые слова: станках хонингования с ЧПУ, твердость, удельное давление, точность, шероховатость поверхности

Giriş. X5CrNi18-10 (DIN/EN 1.4301, AISI 304) markalı polad gəmiqayırma sənayesində bir çox məsul detalların istehsalında geniş tətbiq olunur və “EN 10250-4: 2000 Stainless steels” standartının tələbləri əsasında istehsal olunur. Kimyəvi tərkibi bir çox legirleyici elementlərlə zəngindir və əsasən “Austenitic stainless steel” klassifikasiyası üzrə təsnif olunur.

Tərkibindəki xrom nə nikelin məlum miqdarı bu markanın fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri, korroziyaya davamlığı və əsasən də mexaniki emal olunma qabiliyyətini şərtləndirir. Bu markalı poladların yüksək mexaniki emal olunma və qənaətbəxş fiziki-mexaniki xassələri vardır. Bir çox

təsnifatına görə bu poladdan müxtəlif təyinatlı yayma boruları və s. istehsal olunur ki, bəzi hallarda da bunlar hanlama əməliyyatına cəlb olunur.

Cədvəldə X5CrNi18-10 (1.4301): EN 10088-2-2005 markalı poladın əsas kimyəvi tərkibi verilmişdir.

Cədvəl

X5CrNi18-10 markalı poladın kimyəvi tərkibi

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
mak. 0,07	mak. 1	mak. 2	8- 10,5	mak. 0,045	17,5-19,5	mak. 0,015	mak. 0,11

Mexaniki emal olunma xüsusiyyətinə əsasən materialın bərklik göstəricisi təsir göstərir ki, adıçəkilən poladın bərkliyi – Vickers (HV), (+CR) 220-450, Brinel (HB), (+AT) 215 kimidir. Bərklik ədədinin artması ilə materialın kəsilməyə qarşı müqaviməti də artır, bu da öz növbəsində kəsmə qüvvəsinin yüksək qiymətdə seçilməsini şərtləndirir. Nəticə olaraq texnoloji sistem elementlərinin titrəməsi daha böyük diapazonlarda dəyişir ki, bu da səthin kələ-kötürlüyünün yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

Hal-hazırda dünyada əsasən ABŞ-ın Sunnen (Şəkil 1 a) və Almaniyanın Kadia (Şəkil 2 b) Dəzgahqayırma Şirkətlərinin istehsalı olan RPI honlama (şaqli və üfqi) dəzgahları geniş yayılmışdır. Bu dəzgahlar yüksək dəqiqlik və həm manual, həm də rəqəmli proqramla idarə olunma xüsusiyyətinə malikdirlər.



a)



b)

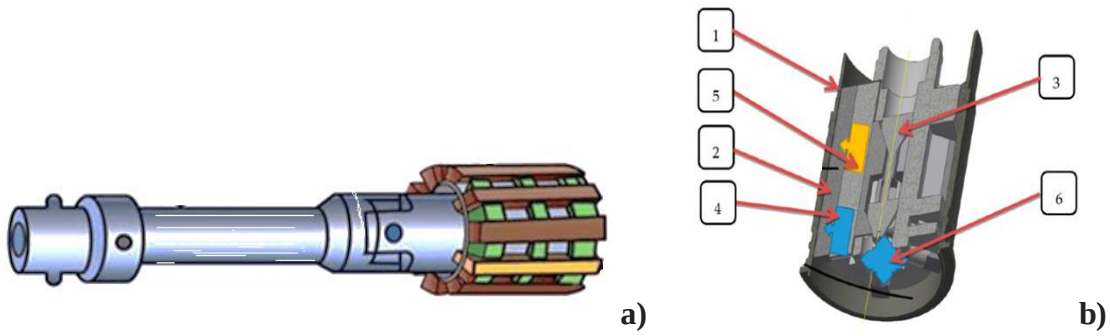
Şəkil 1. Müasir rəqəmli-proqramla idarə olunan honlama dəzgahları:

a) Sunnen SV-15 FHM markalı RPI honlama dəzgahı,

b) Single-spindle honing machine M 1200

Əsas hissə. Honlanma əməliyyatı tamamlama əməliyyatı olaraq, mikrometrik həddə həndəsi forma sapması (Δ) və səth keyfiyyətini (R_z , R_a) minimal həddlərdə formalaşdıran əvəzolunmaz texnoloji əməliyyat kimi tətbiq olunur. Yüksək dəqiqlikli detalların mikrohəndəsi ölçüləri, səth və səth qatı keyfiyyəti və səthin yeyilməyə davamlılığının lazımı həddlərdə formalaşması üçün honlama əməliyyatı müxtəlif metodlarla aparılır. İstehsalatda RPI honlama dəzgahlarının seçilməsi emal rejimi elementlərinin avtomatik tənzimlənməsi və nəticə olaraq, səthin kələ-kötürlük dərəcəsinin lazımı həddlərdə saxlanılmasını şərtləndirir. Hon başlığının ağırlığının profil müstəvisi üzrə emal olunan səthə təsirini nəzərə alaraq, bir çox hallarda dəzgah şpindelini şaquli vəziyyətdə yerləşdirirlər. Nəzərə alsaq ki, bütün honlama dəzgahlarında hon başlığı dəzgahın şpindelini ilə birlikdə konsol tir şəklində hazırlanır [2, 7].

Rəqəmli proqramla idarə olunan dəzgahlarda əsas etibarilə özütənzimlənən “smart” honlama başlıqlarının seçilməsi keyfiyyət göstəricilərinə müsbət təsir göstərir. Şəkil 2-də sadə konstruksiyalı (a) və özütənzimlənən (b) sürtmə başlıqları təsvir edilmişdir [5].



Şəkil 2. Honlama başlıqlarının əsas konstruksiyaları:
 (a) sadə konstruksiyalı və (b) özütənzimlənən sürtmə başlıqları

Emal olunan səthin keyfiyyət göstəricisi kimi kələ-kötürlük (R_a) öz aralarında qarşılıqlı əlaqələri olan çoxsaylı amillərdən asılıdır

Yüksək keyfiyyət göstəricilərinin əldə edilməsi üçün aparılmış təcrübələrin nəticələrinin adekvatlığı Koxren kriteriyası ilə yoxlanılmışdır. Amillərin kodlaşdırılmış qiymətləri üçün prosesin reqresiya modeli əldə edilmişdir. Qurulmuş riyazi modeldən məlum olur ki, səth keyfiyyətinə əsas təsiri x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 amilləri göstərir. Fişer kriteriyasına görə yoxlama $\alpha=0,05$ qiymət səviyyəsi üçün seçilmiş modelinin adekvat olduğunu təsdiqləyir [3].

$$\begin{aligned} \hat{y}_{Ra} = & 0,29 - 0,012x_1 - 0,021x_2 + 0,014x_3 + 0,019x_4 - 0,021x_5 - \\ & - 0,016x_2 - 0,010x_1x_4 - 0,015x_1x_5 + 0,027x_2x_3 + 0,015x_2x_4 - \\ & - 0,015x_2x_5 + 0,019x_3x_5 + 0,018x_4x_5 + 0,012x_1^2 + 0,026x_2^2 + \\ & + 0,016x_3^2 + 0,015x_4^2 - 0,031x_5^2 \end{aligned} \quad (1)$$

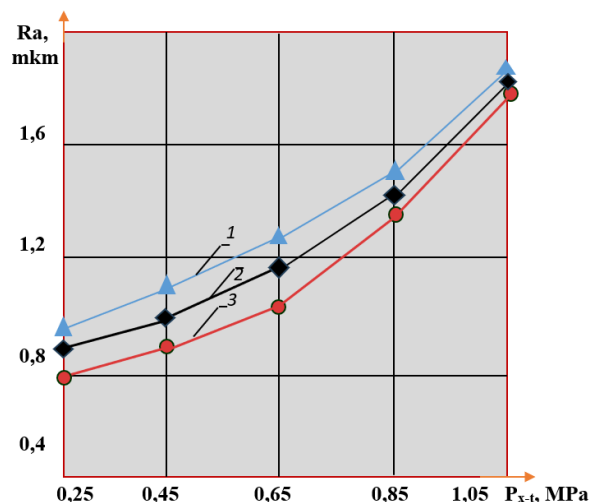
Hesablamalar üzrə müvafiq çevirmələrdən sonra əldə edilmiş asılılıq (1) amillərin natural qiymətləri üçün aşağıdakı formada olmuşdur:

$$\begin{aligned} R_a = & 0,158 + 0,029V_{i-g} - 0,124V_f + 0,223P_{x,t} + 0,399Z - 0,27T + \\ & + 0,339V_{i-g}V_f - 0,018V_{i-g}V_fZ - 0,149V_fP_{x,t} + 0,261P_{x,t}T + \\ & + 0,237P_{x,t}Z + 0,014V_{i-g}^2 + 0,155V_f^2 + 0,279P_{x,t}^2 + 0,329Z^2 - 0,271T^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Seçilmiş metodikaya əsasən, RPİ dəzgahların əsas giriş parametrləri avtomatik şəkildə tənzimlənən honlama əməliyyatı üçün səthin optimal kələ-kötürlüyünün təmini məqsədilə, prosesin əsas parametrlərinin optimal qiymətləri təyin edilmişdir - $V_{i.g}=0,19$ m/san, $V_f=0,45$ m/san, $P_{x,t}=0,69$ MPa, $Z=174$ mkm, $T=88$ san.

X5CrNi18-10 markalı poladın daxili silindrik səthinin honlama əməliyyatının əsas parametrlərinin işçi səthin kələ-kötürlüyünə təsirinin ümumi texnoloji qanunauyğunluğu eksperimental olaraq tədqiq olunmuş və müvafiq funksional asılılıqlar əldə olunmuşdur. Səthə göstərilən xüsusi təzyiqin ($P_{x,t}$) qiymət artımı materialın fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin, eləcə də səthin kələ-kötürlüyünün pozulması ilə nəticələnir. ($P_{x,t}$)-nin qiymət artımı ilə səthin kələ-kötürlüyü (R_a) da artır (Qrafik 1). Təzyiqin artması ilə soyuducu-yağlayıcı səth qatı dağılır, kəsilən metal qatına düşən yük artır, bu da istiliyin ayrılmasına–səth qatı materialının plastidlənməsinə gətirib çıxarır ki, nəticədə detal səthinin möhkəmliyi azalır [3, 8, 17]. Daxili silindrik səthlərin honlama prosesində xüsusi təzyiqin artması hesabına hon başlığı ilə detal arasında optimal araboşluğun faktiki olaraq yaranmaması kəsmə zonasından yonqarın kənar olunmasını çətinləşdirir və başlığın səthi üzrə dənəciklərin bərabər paylanma şərtini pozur. Nəticədə emal olunan səthdə cızıqlar və şırımlar yaranır və onların üzərində kiçik ölçülü yonqar və abraziv dənələri yığılır [1,

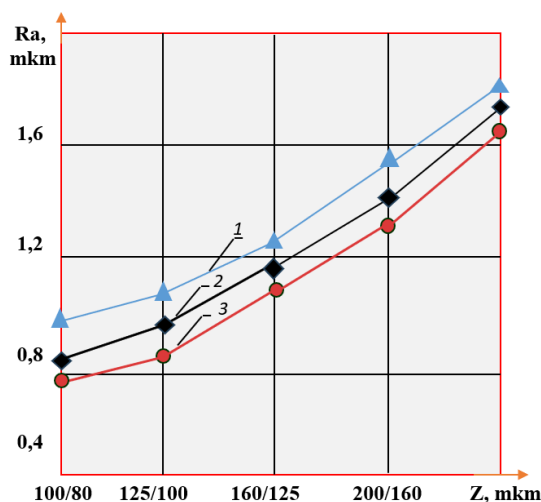
6]. Səthə istiqamətlənmiş aşağı təzyiqlərdə plastik deformasiya yalnız səthin nahamarlıqlarının (çuxıntılarının) uc hissələrinin kəsilməsində müşahidə olunur.



Qrafik 1. Kələ-kötürlüyün xüsusi təzyiqdən asılılığı: (1, 2, 3 – uyğun olaraq, irəli-geri hərəkət sürətinin $V_{i-g}=0,12, 0,16$ və $0,21$ m/san qiymətlərində)

Kələ-kötürlüyün qiyməti azaldıqca, səthin abraziv dənəcikləri ilə təması ciddi şəkildə artır və prosesin sonuna yaxın dənəciklər parçalanır. Bu hal honlama gücünün artması, kəsmə zonasında temperaturun yüksəlməsi və üst səthin yumşalmış materialının abraziv dənəcikləri ilə gücləndirilmiş qaydada tutulması ilə nəticələnə bilər [6, 7, 17]. Xüsusi təzyiqin qiymətinin 0,78-dən 1,05 MPa qədər artırılması səthdən metal çıxarılmasını tədricən artırır, sonrakı artımda isə alət suvaqlaşır ki, bu da metal çıxarılmasının azalmasına gətirib çıxardır.

Qrafik 2-dən görüldüyü kimi dənəvərliyinin (Z) artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü (R_a) əhəmiyyətli dərəcədə artır. Səthin kələ-kötürlüyü R_a -nın artması dənəvərliyinin artması, həm də dənələrin həndəsi forma quruluşundan asılılığı güman olunur. Belə ki, dənəvərliyin yüksəlməsi ilə hər bir vahid dənəciyin çıxardığı qatın sahəsi artır, bu da səth qatının mikroyefindəki qanovcuqların en kəsiklərinin artmasına gətirir, nəticədə səthin kələ-kötürlüyü R_a -nın qiyməti artır.

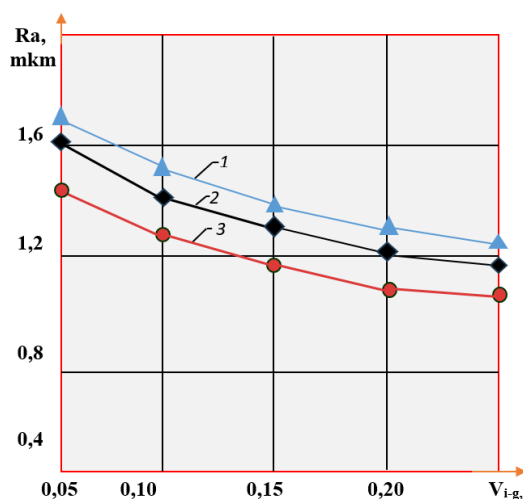


Qrafik 2. Kələ-kötürlüyün abraziv dənəvərliyindən asılılığı: (1, 2, 3–uyğun olaraq, irəli-geri hərəkət sürətinin $V_{i-g}=0,12, 0,16$ və $0,21$ m/san qiymətlərində)

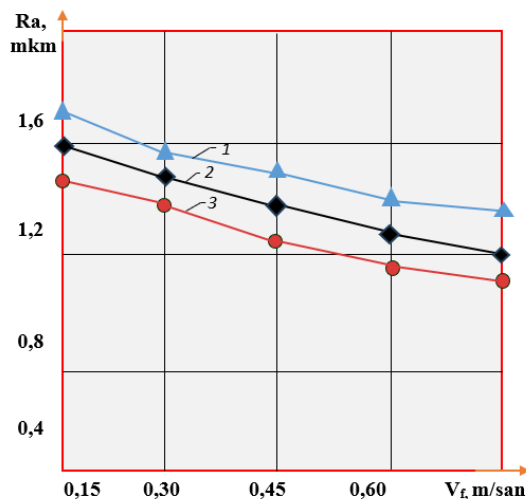
Dənəvərliyin dəyişilməsi ilə ümumilikdə kəsmə prosesi, həm də emal olunan metalla dənəcik arasındakı bütün növ əlaqə də dəyişilir. Bu qarşılıqlı təsirə kontakt zonasındakı dənələrin vəziyyəti və hərəkətləri də nəzərəcarpacaq dərəcədə təsir göstərir [8, 11]. Əgər xırda abraziv dənələri emal prosesində nisbətən stabil vəziyyətə malikdirsə, daha böyük dənələri olan bülöv daşları tətbiq olunduqda mexaniki kəsmənin payı artır.

Qrafik 3 və 4-dən göründüyü kimi, honlama başlığının irəli-geri (V_{i-g}) və fırlanma (V_f) hərəkət sürətlərinin artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü azalır. Honlama başlığında müəyyən təzyiq olduqda abraziv dənəcikləri ilə kəsmə baş verir, fırlanma sürətinin aşağı qiymətlərində üst səth qatındakı metalın yumşalması üçün lazım olan istilik miqdarı və mikroyəfın plastik hamarlanması yetərli olur. Bu problemin həlli üçün istiliyin artırılması məqsədilə V_{i-g} və V_f parametrləri qiymətlərinin artırılması zəruridir. X5CrNi18-10 markalı polad materialın emalı təmsalında oprimal keyfiyyətin alınması üçün $V_{i-g}=0,19-0,22$ m/san və $V_f=0,47-0,58$ m/san sürətlərində işləmək daha əlverişlidir.

Təcrübələrlə müəyyən edilmişdir ki, hon başlığının irəli-geri və fırlanma hərəkət sürətlərinin $V_{i-g}=0,16-0,18$ m/san və $V_f=0,46-0,52$ m/san qiymətlərindən kiçik sürətlərdə səthdə $R_a=1,1$ mkm-dək aşağı dayanıqlı kələ-kötürlüyün alınması mümkün olur.



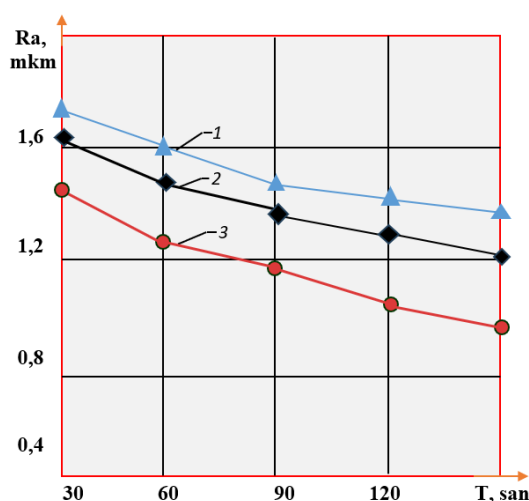
Qrafik 3. Kələ-kötürlüyün irəli-geri hərəkət sürətindən asılılığı;
 (1, 2, 3–uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin $P_{x-t}=0,47, 0,67$ və $0,87$ MPa qiymətlərində)



Qrafik 4. Kələ-kötürlüyün fırlanma hərəkət sürətindən asılılığı;
 (1, 2, 3–uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin $P_{x-t}=0,45, 0,65$ və $0,85$ MPa qiymətlərində)

Metalların mexaniki xassələri ilə onun yonulma qabiliyyəti arasında qənaətbəxş korrelyasiya yoxdur. Məlumdur ki, bərkliyin və möhkəmliyin artması metalın sürətlə yonulma qabiliyyətini, kimyəvi tərkibindən asılı olmayaraq azaldır. Lakin bərkliyin eyni qiymətində, struktur və kimyəvi tərkibi müxtəlif olan metalların yonulma qabiliyyəti arasında xeyli fərq olur. Yonulma qabiliyyətinə təsir edən amillərdən ən əhəmiyyətli metalların istilikkeçirmə xüsusiyyətidir [7,10,15]. Sürət parametrləri qiymətlərinin artması ilə kəsmə zonasında temperatur artır, bu da hər bir dənəciyin emal olunan səth üzrə kəsmə yolunun artması ilə əlaqədardır.

Səth keyfiyyətini xarakterizə edən əsas texnoloji amillərdən bir də emal vaxtıdır. Emal vaxtının (T) artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü azalır (Qrafik 5). Emal müddətinin artması ilə metal çıxarılma intensivliyi yüksəlir. Lakin burada birbaşa asılılıq yoxdur, çünki emal müddətinin artması həm də bülöv daşının yeyilməsini artırır. Yeyilmə intensivliyi sürtgünün işçi səthində olan dənələrin sayından asılıdır [16, 17]. Səthin kələ-kötürlüyünün azalması emal müddətinin artması ilə tam əlaqəlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, emal müddətinin artması ilə kəsmə zonasında temperatur yüksəlir ki, bu başlanğıc mərhələdə sıçrayış xarakterli olur və sonradan tədricən stabilləşir.



Qrafik 5. Kələ-kötürlüyün emal müddətindən asılılığı; (1, 2, 3 – uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin $P_{x-t}=0,45, 0,65$ və $0,85$ MPa qiymətlərində)

Nəticə. RPİ honlama dəzgahlarında səth keyfiyyətinin optimal qiymətinin əldə olunması həm pəstah materialının texnoloji göstəriciləri, emal rejimi parametrləri və bir sıra digər texnoloji göstəricilərin optimal qiymətlərinin əldə olunması ilə mümkündür. Keyfiyyətə təsir göstərən ən əsas parametr kimi honlama şpindelinin irəli-geri və fırlanma hərəkət sürətlərini qəbul edə bilərik. Avtomatik tənzimləmə sistemində bu qiymətlərin minimumdan maksimuma qədər dəyişdirilməsi digər üç parametrin – xüsusi təzyiq, dənəverlik və emal müddətinin qiymətlərinin tənzimlənməsinə nəzərən daha asan idarə olunur. Ümumiləşdirilmiş şəkildə deyə bilərik ki, honlama prosesində səthin tələb olunan kələ-kötürlüyünün təmin olunması çoxsaylı texnoloji, konstruktiv və təşkilati amillərdən asılı olan mürəkkəb texnoloji məsələdir.

Ədəbiyyat

1. Yusubov N.D., Abbasova H.M., Dadashov R.Y. Theoretical basis for the development of an algorithmic unified complex of mathematical models of cutting forces// Machine Science. - 2023.- № 1 – p. 55-60.
2. Гафаров А.М. Ротационное хонингование. Баку, ЭЛМ, 1999, 132 с.

3. Ю.Н.Гасанов Регулирования триботехнических характеристик поверхностей деталей. Баку ЕЛМ 2001,стр.312
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897212010651>
5. Y.N.Həsənov və başqaları. Patent İ20170030, Daxili silindrik səthlərin emalı üçün xoninqləmə başlığı. Bakı, 11.04.2018.
6. Aziz S. Sh, Improving surface quality in flat grinding operations using modern technological methods, Baku, ATU, Mashine Science - 2024, №2, - p. 59-64, https://msj.aztu.edu.az/uploads/msj_v6.pdf
7. Aziz S. Sh. Characteristics of quality formation in processing of 32CrMoV12-10 steel by honing, 2nd International Scientific-Practical Conference "Machine Building and Energy: New Concepts and Technologies", December 4-5, 2023, AzTU -Baku, Azerbaijan <https://www.researchgate.net/publication/379628736> Characteristics of quality formation in processing of 32CrMoV12-10 steel by honing
8. Eziz, S. Sh. Theoretical studies of the dynamic characteristics of the internal lapping process // – Magnitogorsk: Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, – 2020. №2 (Vol.18), – p. 30-37
9. Rasulov, N.M., Alekberov, M.Z., Nadirov, U.M. More Efficient Copy Grinding of Complex Surface. Russ. Engin. Res. 41, 829-831 (2021). <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X21090227>
10. V.I.Guzeev, N.D.Yusubov, H.M.Abbasova, R.Y.Dadashov, Optimization of the number of machining stages workpieces for mechanical engineering parts, Machine science, N2, pp.4-12, 2024. <https://doi.org/10.61413/VZRV4922>
11. Piotr Sender, Irene Buj-Corral, Influence of Honing Parameters on the Quality of the Machined Parts and Innovations in Honing Processes, Metals, 13(1), 140, Barcelona, Spain, 2023
12. Eziz, S. Sh. Kinematic features of the lapping process and determination of its basic parameters // – Moscow: Computational Nanotechnology, – 2020. №3 (Vol.7), – p. 11-16
13. Əziz S.Ş. Daxili silindrik səthlərin sürtmə əməliyyatı ilə emalının əsas xüsusiyyətləri // AMA Xəbərləri, 2018, №3. s.44-50
14. Ümid Yusif, Xəlilov Ə.H. Maşınqayırma texnologiyası. Bakı: AzPİ, 1987, 121 s.
15. Гафаров А.М. Прогрессивные методы механической обработки. Баку, "ЭЛМ", 2001. в двух томах т.1, 286 с, т.2, 310 с.
16. Yusubov N.D., Abbasova H.M. Models of Machining Accuracy in Multi-Tool Adjustments. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME). vol. 17, no. 3, pp. 8067-8085, Oct. 2020. Malaysia.
17. Əziz S.Ş., Abbasov E.O, Kəlbəyev F.M., Hüseynzadə E.M, Honlama prosesində səth keyfiyyətinin müasir texnoloji üsullarla yüksəldilməsi, Bakı, ADDA, səh 53-66. https://adda.edu.az/uploads/EE_N_1_2025.pdf

Məqalə qəbul olunub: 29.10.25
Təvsiyə edib: prof. Yusubov N.D.