

MATERIALŞÜNASLIQ

UOT: 621.923

DOI: 10.34826/NAA.2021.23.3.005

**FASONLU SƏTHLƏRİ SURƏTKÖÇÜRMƏ İLƏ PARDAQLAMA SƏMƏRƏLİLİYİNİN
YÜKSƏLDİLMƏSİ****Rəsulov N.M., Ələkbərov M.Z., Şəbiyev E.T., Məmmədov Ə.S.**

Azərbaycan Texniki Universiteti

Maşın və aviasiya avadanlığı hissələrinin, alətlərin konstruksiyasında nəzərdə tutulan müxtəlif təyinatlı fasonlu səthlərin surətköçürmə ilə paradaqlanması yüksək emal dəqiqliyi və məhsuldarlıq təmin edir. Bu zaman, pəstahın paradaqlanacaq elementar bölgələrinin kəsmə zonasında yerləşmə bucaqlarının müxtəlifliyi ilə əlaqədar olaraq, faktiki kəsmə dərinliyinin fasonlu profil boyunca dəyişməsi nəticəsində, paradaqlanmış səthdə analoji emal xətaləri yaranır, emal səmərəliliyi təmin edilmir. İşdə fasonlu səthləri surətköçürmə ilə paradaqlama zamanı kəsmə dərinliyinin dəyişməsi mexanizmi araşdırılır, onun fasonlu profil boyunca maksimum müntəzəmliyinin təmin edilməsi istiqaməti müəyyən edilir, əməliyyatın texnoloji imkanlarından istifadə etməklə paradaqlama keyfiyyətinin və səmərəliliyinin yüksəldilməsi məsələsi həll edilir. Təcrübələrlə müəyyən edilib ki, dişli çarxın paradaqlanacaq dişini mümkün qədər maksimum maili yerləşdirməklə paradaqladıqda emal olunmuş səthin nahamarlığı mövcud üsulla dişparadaqlamaya nisbətən 36,5 %-dək kiçik, keyfiyyəti isə uyğun olaraq, yüksək təmin edilir.

***Açar sözlər:** paradaqlama, surətköçürmə, dişli çarx, kəsmə dərinliyi, fərqli, istiqamət, maili, keyfiyyət, yüksəltmə.*

Giriş. Maşın və aviasiya avadanlığı hissələrinin, alətlərin konstruksiyalarında onların funksional təyinatlarının tələblərinə uyğun olan fasonlu səthlər nəzərdə tutulur. Məsələn, turbinlərin pərləri, onların yığılması üçün yolka qıfılı, ştamp və qəlib hissələrinin və s. səthləri fasonlu kəskilər, fasonlu frezlər, təbəqə materiallarda müxtəlif profilləri diyirləmək üçün istifadə edilən valcıqlar-alətlər, bu qəbildəndir [1-4]. Bu səthlərin iş şəraitləri onların yüksək dəqiqlik və səth keyfiyyətlərinə malik olmalarını tələb edir. Odur ki, bu səthlər adətən paradaqlanırlar. Fasonlu səthlərin profil boyunca surətköçürmə ilə paradaqlanması yüksək emal dəqiqliyi ilə yanaşı, həm də nisbətən yüksək məhsuldarlıq təmin edir. Müxtəlif prizmatik və fırlanma cisimlərində fasonlu səthlərin surətköçürmə ilə paradaqlanmasından maşınqayırmada geniş istifadə olunur [2, 4-7].

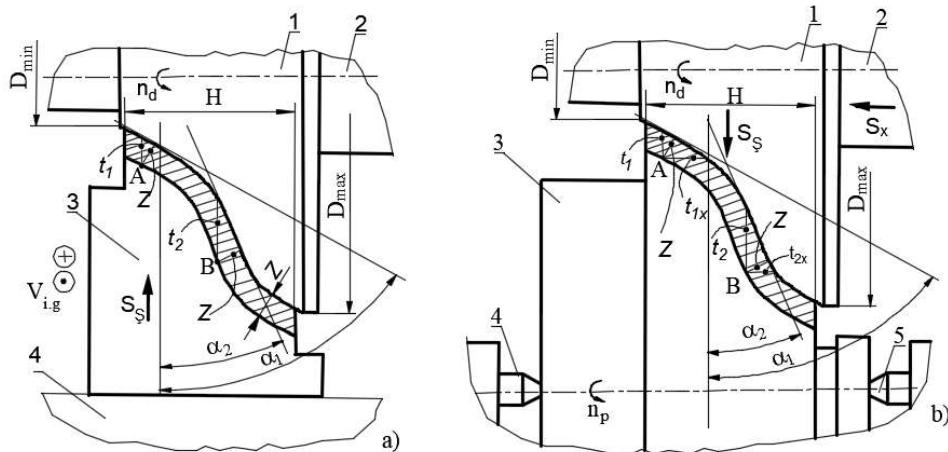
Seriyalı istehsalda paradaqlama RPİ tipli dəzgahlarda, müxtəlif surətköçürmə tərtibatlarından istifadə etməklə, işçi səthi dəyirmilənmiş pardaq dairəsi ilə aparılır. Lakin, bu üsulla surətköçürmə kütləvi və iri seriyalı istehsalda səmərəli deyildir. Kütləvi və iri seriyalı istehsalda fırlanma və yastı fasonlu səthlərin, profili formalaşdırılacaq profilin formasına uyğun olan pardaq dairəsi ilə paradaqlanması daha səmərəlidir. Bu məqsədlə fırlanma səthlərini paradaqlamaq üçün dairəvi pardaq dəzgahlarından, yastı fasonlu səthləri paradaqlamaq üçün düzbucaq stollu yastı və yastı surətköçürmə pardaq dəzgahlarından istifadə edilir.

Fasonlu yastı səthlərin surətköçürmə ilə paradaqlanması aşağıdakı kimi aparılır:

Yastı fasonlu səthə malik pəstah 3 pardaq dəzgahının stolu 4 üzərində, adətən səthin ölçü bazasının dəzgahın şpindelinin 2 oxuna, yəni stolun səthinə paralel olmaqla yerləşdirilir (şəkil 1,a). Paradaqlama, işçi səthinin profili fasonlu səthin surəti olan abraziv dairə 1 ilə aparılır. Pardaq dairəsinə 1 fırlanma hərəkəti n_d , pəstaha 3 isə stolla 4 birlikdə fasonlu yastı səthin doğurarı istiqamətində ikiqat gediş hərəkətləri $V_{i.g}$ verilir. Hər ikiqat gedişdən sonra stol şaquli verişlə ξ_s

şpindelə 2 tərəf yerdəyişmə alır. Səthdən nəzərdə tutulmuş emal payı çıxarıldıqdan sonra ikiqat gedişlər dayandırılır və fasonlu səth paradaqlanmış olur. Fasonlu səthin tələb olunan keyfiyyətindən asılı olaraq, ikiqat gedişlər arasında abraziv dairənin profili “düzəldirilir”, o, itilənir [2,3,6,8,9].

Fırlanma hissəsində fasonlu səthin sürətköçürmə ilə paradaqlaması da analoji qaydada, radial (S_r), oxboyu (S_x) və ya maili (adətən, 45° bucaq altında) verişdən istifadə etməklə aparılır (şəkil 1,b). Bu zaman dairəvi pardaq dəzgahının mərkəzlərində (4 və 5) yerləşdirilmiş pəstaha 3 fırlanma hərəkəti (n_p), alətdə isə veriş hərəkəti verilir [2-4].



Şəkil 1. Fasonlu yastı səthin yastı pardaq dəzgahında (a) və fasonlu fırlanma səthinin dairəvi pardaq dəzgahında (b) sürətköçürmə ilə paradaqlanma sxemləri

Hər iki halda pəstahın bütün fasonlu səthi üzərində, ona normal istiqamətdə sabit emal payı Z nəzərdə tutulur. Pəstahın bazalaşdırılma sxemi və onun səthinin elementar bölgələrinin vəziyyətindən asılı olaraq, profilin paradaqlanan elementar bölgələri kəsmə zonasında alətin oxuna nəzərən müxtəlif bucaq altında yerləşir, $\alpha_1 \neq \alpha_2$ (şəkil 1). Bu zaman, alətin kəsmə dərinliyinə nisbi veriş istiqaməti S_s elementar profilə toxunana perpendikulyar olmur və qeyri-perpendikulyarlıq əyrişli profil boyunca dəyişir. Uyğun olaraq, kəsmə dərinliyi t -də fasonlu profil boyunca dəyişən qiymətlər alır, $t_1 \neq t_2$ [6, 10-12]. Fasonlu səthin mexaniki emal payı nisbətən böyük olan bölgəsindən çıxarılan material qatının qalınlığı da böyük olur, uyğun olaraq kəsmə qüvvəsi profil boyunca dəyişir. Fasonlu səthin müxtəlif bölgələrində yaranan fərqli kəsmə qüvvələrinin təsiri altında texnoloji sistem elementlərinin elastiki, pəstahın səthinin isə həm də plastiki deformasiyaları səth boyunca fərqli qiymətlər alır, emaldan sonra isə uyğun olaraq, paradaqlanmış fasonlu profil üzrə qalıq-çıxarılmamış payların qiymətləri də kəsmə dərinliklərinin fərqi ilə analoji olaraq fərqlənir, lakin nisbətən kiçik qiymətlər alırlar. Kəsmə dərinliyinin emal olunan səth boyunca dəyişən qiymətlər alması texnoloji prosesin irsilik prinsipinə əsasən, elementar kəsmə bölgələrində gedən fiziki-mexaniki proseslərin də dəyişkən olmasına səbəb olur [2,5,13,14]. Nəticədə, sürətköçürmə ilə paradaqlanmış fasonlu səthdə analoji emal xətaləri yaranır, onun dəqiqlik və nahamarlıq üzrə keyfiyyət göstəriciləri aşağı alınır, fasonlu profilin formalaşdırılması səmərəliliyi təmin edilmir.

Faktiki kəsmə dərinliyinin dəyişməsinin törətdiyi texnoloji fəsadlar

Fasonlu səthlərin sürətköçürmə ilə qeyd olunan qaydada paradaqlanması zamanı faktiki kəsmə dərinliyinin dəyişməsi kəsmə rejiminin dəyişməsinə imitasiya edərək, aşağıdakı texnoloji fəsadları törədir:

- kəsmə dərinliyinin veriş istiqamətindəki qiymətləri böyükdür və geniş diapazonda dəyişir, $t_2 \Rightarrow \max; (t_2 - t_1) \Rightarrow \max$ (şəkil 1);
- pardaq dairəsinin işçi eni kiçikdir, ($H \Rightarrow \min$);

- pardaq dairəsinin işçi elementar en kəsik diametrləri fərqi böyükdür, $((D_{max} - D_{min}) \Rightarrow max)$ (şəkil 1);
- alətin yeyilmə intensivliyi işçi profili boyunca kəskin dəyişir, $(U \Rightarrow max)$;
- alətin hər bir itilənməsində çıxarılan abraziv qatının qalınlığı böyükdür, $(U_t \Rightarrow max)$;
- alətin xidmət müddəti kiçik olur, $(T \Rightarrow min)$;
- alətin işçi profil üzrə yeyilməsinin qeyri-bərabərliyi yüksək olur;
- kəsmə bölgəsində yüksək istilik yaranır;
- istiliyin kəsmə bölgəsindən kənarlaşdırılması çətinləşir;
- emal olunan fasonlu səthin üst qatlarında termiki yanıqların yaranması üçün əlverişli şərait yaranır;
- fasonlu profil boyunca fərqli emal keyfiyyəti formalaşır, fasonlu səthin paradaqlanma keyfiyyəti və səmərəliliyi aşağı olur.

Qeyd olunan çatışmazlıqlar emal olunan səthin dəqiqliyinə və keyfiyyətinə təsir edir. Bunun əsas səbəbi isə emal zamanı fasonlu səthin ayrı-ayrı bölgələrində kəsmə dərinliyinin müxtəlif qiymətlər alması və kəskin fərqlənməsidir. Deməli, belə çatışmazlıqları aradan qaldırmaq və ya onların emal keyfiyyətinə təsirini azaltmaq üçün, fasonlu səthlərin sürətköçürmə ilə paradaqlanmasında verişin optimal istiqamətdə aparılması, müxtəlif bölgələrdə verişlə səthə normal istiqamətdə emal payları arasındakı bucaqların və onların dəyişmə diapazonlarının minimumluğu, abraziv dairənin eninin maksimumluğu-onun emal olunan səthin eninə yaxınlaşdırılması, alətin elementar–yerli işçi diametrlərinin dəyişmə diapazonlarının minimumluğu təmin edilməlidir. Bu cür paradaqlama sxemi paradaqlama səmərəliliyinin yüksəlməsinə, emal olunmuş səthlərin dəqiqlik və nahamarlıq üzrə keyfiyyət göstəricilərinin nisbətən yüksək olmasına zəmin yaradar.

İşin məqsədi fasonlu səthləri sürətköçürmə ilə paradaqlama keyfiyyətinin və səmərəliliyinin yüksəldilməsi istiqamətinin müəyyən edilməsi və sınaqdan keçirilməsidir.

Paradaqlama səmərəliliyini yüksəltmə istiqamətinin təyini

Araşdırmalara əsasən, fasonlu səthləri sürətköçürmə ilə paradaqlama səmərəliliyini yüksəltmə, paradaqlamada yol verilən çatışmayan cəhətləri paradaqlama prosesinin texnoloji imkanları çərçivəsində azaltma istiqaməti kimi kəsmə dərinliyinin fasonlu profil boyunca müntəzəmliyinin artırılması qəbul edilir.

Paradaqlama zamanı kəsmə dərinliyinin fasonlu profil boyunca maksimum müntəzəmliyi şəraitini təmin etmək üçün, onun dəyişməsi mexanizmini araşdıraraq.

Tutaq ki, fasonlu səthin ən kiçik mailliyə malik elementar bölgəsində, A nöqtəsi ətrafındakı bölgədə səthə çəkilməmiş toxunanla şaquli verişin S_s istiqaməti arasındakı bucaq α_1 , səthin ən böyük maillikli, B nöqtəsi ətrafındakı bölgəsində isə α_2 -dir, $\alpha_1 > \alpha_2$ (şəkil 1). Bu halda profilin A və B nöqtələri bölgələrində kəsmə dərinlikləri, uyğun olaraq t_1 və t_2 biri-birindən kəskin fərqlənirlər, $t_1 \neq t_2$, və bu fərq maksimum olur $(t_2 - t_1) \Rightarrow max$. Ən böyük maillikli bölgədə (B nöqtəsi ətrafında, səthin mailliyi α_2 bucağı üzrədir) kəsmə dərinliyi maksimum qiymət alır:

$$t_2 = \frac{Z}{\sin \alpha_2} \Rightarrow \max .$$

Ən kiçik maillikli bölgədə isə (A nöqtəsi ətrafında, səthin mailliyi α_1 bucağı üzrədir) kəsmə dərinliyi minimum olur:

$$t_1 = \frac{Z}{\sin \alpha_1} \Rightarrow \min .$$

Beləliklə, kəsmə dərinliklərinin ən böyük fərqi:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = Z \left(\frac{\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2}{\sin \alpha_2 \sin \alpha_1} \right) \Rightarrow \max \quad (1)$$

olar. Deməli, B nöqtəsi ətrafından abraziv dairəsinin elementar-vahid eni ilə çıxarılan materialın kütləsi (həcmi), A nöqtəsi ətrafından çıxarılan materialın kütləsindən (həcmindən) böyük olur. Alətin en kəsiyinin eyni diametrlərində vahid en kəsik sahəsinə düşən abraziv danələrin sayı sabit olduğundan, uyğun olaraq dairənin B nöqtəsi bölgəsindəki kəsik üzrə yeyilməsi də, A bölgəsinə nisbətən yüksək qiymət alır.

Fasonlu profilin mailliyi böyük olduqca pardaq dairəsinin ən böyük D_{max} və ən kiçik D_{min} diametrlərinin fərqi də böyük olur. Alətin istifadəsinin son mərhələsində, yəni yeyilmə-itilmə nəticəsində onun diametrinin kiçik olduğu hallarda diametrlər fərqi ($D_{max} - D_{min}$) daha böyük nisbi qiymətlər alır və bu halda o, pardaqlama keyfiyyətinə əhəmiyyətli təsir edə bilər.

Verişin istiqaməti ilə kəsmə dərinliyi arasında əlaqəni aydınlaşdırmaq üçün, tutaq ki, verişin istiqaməti S_x fırlanma səthinin oxuna paraleldir (şəkil 1, b). Bu halda, profilin A və B nöqtələri ətrafındakı bölgələrdə faktiki kəsmə dərinliklərinin (t_{1x} və t_{2x}) təyini göstərir ki, birinci variantda verilmiş əks olan nəticə alınır. Yəni, ən böyük maillikli bölgədə (B nöqtəsi ətrafında, səthin mailliyi α_2 bucağı üzrədir) kəsmə dərinliyi minimum ($t_{2x} \Rightarrow \min$), ən kiçik maillikli bölgədə (A nöqtəsi ətrafında, səthin mailliyi α_1 bucağı üzrədir) maksimum ($t_{1x} \Rightarrow \max$) qiymət alır. Beləliklə, verişin istiqamətinin 90° dəyişdirilməsi nəticəsində faktiki kəsmə dərinliklərinin fasonlu profilin bölgələri üzrə dəyişməsi qanunauyğunluğu əks istiqamətdə baş verir. Deməli, fasonlu səthin müxtəlif bölgələrində faktiki kəsmə dərinlikləri verişin istiqamətindən funksional asılıdır.

Kəsmə dərinliyinin dəyişməsinin minimumluğunu ($\Delta t \Rightarrow \min$) (1) ifadəsindəki $(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$ fərqi minimumluğu ilə, yəni verişin istiqamətinin idarə edilməsi ilə təmin edilə bilər. Bunun üçün $(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) = 0$, yəni $(\alpha_1 = \alpha_2)$ təmin edilməlidir. Doğrudan da fasonlu səthləri pardaqlama səmərəliliyini yüksəltmə istiqamətlərindən biri kimi verişin profilə nəzərən istiqamətini idarə etməklə, çıxarılan faktiki material qatının qalınlığının profil boyunca müntəzəmliyinin yüksəldilməsi qəbul edilə bilər. Bu halda fasonlu səthin sürətköçürmə ilə pardaqlanması zamanı $(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$ fərqi azaldılması faktiki kəsmə dərinlikləri fərqi azalmasını, yəni kəsmə şəraitinin yaxşılaşdırılmasını təmin edir. Nəticədə, fasonlu səthləri sürətköçürmə ilə pardaqlamada yol verilən çatışmayan cəhətləri heç bir əlavə resurs sərf etmədən, prosesin texnoloji imkanları çərçivəsində aradan qaldırmaq və ya azaltmaq olar.

Pardaqlama səmərəliliyini yüksəltmə tədbirinin sınaqdan keçirilməsi

Nəzəri tədqiqatlarla müəyyən edilmiş müddəaları təcrübələrlə yoxlamaq üçün sınaq obyektini kimi silindrik dişli çarxların dişlərinin işçi-evolvent profilli səthlərinin pardaqlanması qəbul edilir. Belə ki, silindrik dişli çarx ötürmələrindən texnikada geniş istifadə olunur. Dişli çarx ilişkələrinin, dişlərin evolvent profillərinin istismar göstəriciləri, o cümlədən onların yeyilmə davamlılıqları-triboloji göstəriciləri dişlərin istehsal dəqiqliyi ilə yanaşı, onların işçi səthlərinin nahamarlığı və səth qatının keyfiyyətindən asılıdır [3, 15-18]. Odur ki, fasonlu-evolvent profilləri sürətköçürmə ilə pardaqlanmış diş səthlərinin nahamarlığı tədqiq edilir. Bunun üçün ənənəvi və AzTU-nun əməkdaşları (müəlliflər) tərəfindən işlənmiş sürətköçürmə ilə dişpardaqlama üsulları ilə dişli çarxlarda evolvent profillərin iki variant üzrə pardaqlanması aparılır və pardaqlanmış dişlərin keyfiyyət göstəriciləri tədqiq və müqayisə edilir.

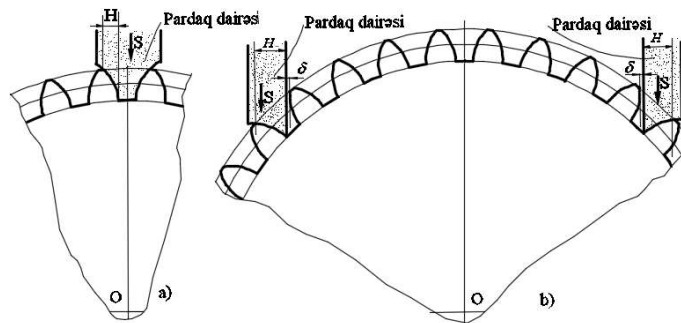
Dişli çarxlarda evolvent profillərin hər iki variant üzrə sürətköçürmə ilə pardaqlanması Almaniya istehsalı olan Gleason Pfauter P-400G modeli profilpardaqlayan dəzgahda aparılıb. Dəzgah, texnoloji əməliyyatın giriş və çıxış parametrlərini qeyd etmə sisteminə malik olan, çox müasir rəqəmli proqram idarəetmə, profilpardaqlayan dəzgahdır.

Bütün nümunələrdə paradaqlama üçün eyni qalınlıqda, hər profil üçün $0,28 \div 0,30$ mm emal payı saxlanılıb. Nümunələrdə paradaqlama öncəsi dişkəsmə prosesi texnoloji sistemin yalnız bir sazlanmasında aparılıb. Təcrübi tədqiqatlar müxtəlif parametrlı dişli çarxlarda, müxtəlif materiallarda Sumqayıt Texnologiyalar Parkında, sənaye şəraitində aparılıb. Alınmış nəticələr identik olduğundan-uzlaşdığından burada yalnız bir tip nümunələr üzrə təcrübələrin nəticələri təqdim olunur.

Məlumdur ki, dişlərin evolvent profillərinin sürətköçürmə ilə pardaqlanması yastı fasonlu səthlərin pardaqlanması üsuli ilə, dişlərin emal bölgəsində şaquli yerləşmiş vəziyyətində və verişin şaquli istiqamətində aparılır (şəkil 2,a) [2,6,7-9].

Sınaq obyektı olaraq, dişlərinin sayı $z=40$, modulu $m=4\text{ mm}$, dişlərinin uzunluğu $l=44\text{ mm}$, materialı polad 40XH, materialın bərkliyi HRC 49-52 olan dişli çarx götürülüb.

Birinci variantda dişli çarxın şaquli vəziyyətdə, üzbəüz yerləşmiş dişlərinin profilləri (mövcud-istehsalatda tətbiq edilən metod) (şəkil 2,a), ikinci variantda isə şaquli vəziyyətə nisbətən müəyyən α bucağı qədər (mümkün olan ən böyük dönmə) dönmüş vəziyyətdə yerləşən dişlərin profilləri (şaquli yerləşmiş dişdən sağa və sola $n=6$ -cı dişlər, təklif edilən metod) (şəkil 2,b) paradaqlanır.



Şəkil 2. Dşli çarxın dişlərinin pardaqlanması sxemləri: a) ənənəvi üsulla, b) təklif edilən üsulla

Pardaqlama prosesi iki kobud, iki təmiz gedişlə həyata keçirilib. Onlardan hər birində radial istiqamətdə eninə veriş: 1-ci və 2-ci gedişlərdə 0,100 mm, 3-cü gedişdə 0,06 mm, 4-cü gedişdə isə 0,040 mm olub. Faktiki kəsmə sürəti $V = 35 \text{ m/san}$; effektiv veriş: ikiqat gediş sürəti 1–3 gedişlər üçün 3000 mm/san, sonuncu gediş üçün 1800 mm/san götürülüb.

Dişli səthlərin keyfiyyət parametrləri: F_{pr} -dişli çarxın addımlarının toplu xətası-kinematik dəqiqlik normaları üzrə; f_{ptr} -addım xətası-iş səlisliyi normaları üzrə; E_{csr} -dişin qalınlıq sapması-yan araboşluğu normaları üzrə; $F_{\beta r}$ -dişin istiqamətinin sapması-dişlərin iş səlisliyi normaları üzrə tədqiq edilib.

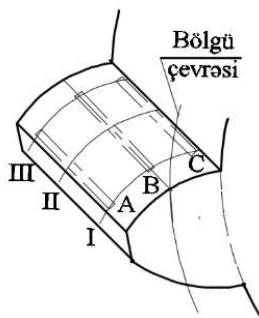
Pardaqlanmış nümunələrin dişli səthlərinin nahamarlığı həm laboratoriya və həm də istehsal şəraitində ölçülüb. Ölçmələr TR220 markalı daşınan kələ-kötürlük testeri və BB-7669M markalı profilograf-profilometr vasitəsi ilə aparılıb (şəkil 3).

TR220 cihazı ilə səthin kələ-kötürlük parametrləri: profilin orta hesabi sapması R_a , ən böyük hündürlüyü R_{max} və nahamarlığın on nöqtə üzrə hündürlüyü R_z , iki istiqamətdə: dişlərin uzununu və evolvent profil boyunca (A, B və C doğuranları) dişlərin yan tərəflərinə yaxın və dişin eninə orta kəsiyində (I, II və III) ölçülüb (şəkil 3).

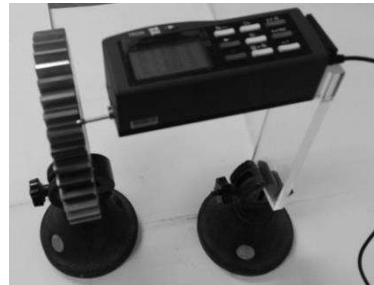
Bundan əlavə, səth qatının keyfiyyəti də tədqiq edilib.

Nahamarlığın R_z , R_a və R_{max} parametrləri üçün təcrübələrdən alınmış nəticələr interpretasiya edilib. Təklif olunan və mövcud üsullarla pardaqlanmış dişlərin səth keyfiyyətlərinin təcrübələrdən alınmış nəticələri şəkil 4-də verilib. Şəkildə yalnız R_{max} və R_a parametrlərinin dişin evolvent profili

boyunca dəyişməsi qanunauyğunluqları $R_{max} = f(h)$ və $R_a = f(h)$ müqayisə edilən hallar üçün göstərilib.



a)

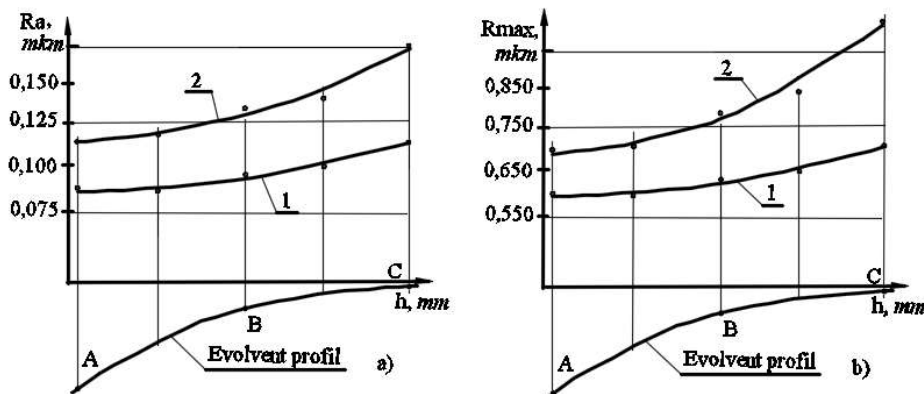


b)

Şəkil 3. Dışda evolvent profilin səthin nahamarlığının ölçülməsi: ölçmə məntəqələri (a) və ölçmə (b)

Bütün nümunələrdə hər iki variant üzrə aparılmış paradaqlamadan alınan səthlərin nahamarlıq keyfiyyətlərinin müqayisəsi nəzəri tədqiqatların nəticələrini təsdiqləyir. Bütün hallarda təklif olunan üsulla paradaqlanmış səthin nahamarlıq göstəriciləri nisbətən kiçik alınmış. Yəni, maili yerləşmiş dişlərin paradaqlanması emal olunmuş səthlərin nisbətən yüksək həndəsi keyfiyyətlərini təmin edib.

Nəzəri müddəalara uyğun olaraq, hər iki variantda dişin zirvəsinə yaxın bölgələrdə səthin kələ-kötürlük parametrləri (R_a , R_z və R_{max}) nisbətən kiçik qiymətlərə malik olmuşlar (şəkil 4). Bu bölgədə kəsmə dərinliyi digər bölgələrə nisbətən kiçik olur. Şəkildə təsvir edildiyi kimi, təklif olunan üsulla dişparadaqlamada $R_{amin} = 0,087 \text{ mkm}$ təmin edildiyi halda (şəkil 4, a, 1 əyrisi), ənənəvi üsulla dişparadaqlamada nisbətən yüksək $R_{amin} = 0,116 \text{ mkm}$ (şəkil 4, a, 2 əyrisi) təmin edilir. Deməli, maili yerləşdirilmiş diş paradaqladıqda onun zirvəsi ətrafında səthin kələ-kötürlüyünün orta hesabı sapmasının şaquli yerləşmiş dişə nisbətən ~25 % azalması təmin edilir.



Şəkil 4. Səthin nahamarlıq göstəricilərinin (R_a və R_{max}) dişin evolvent profili boyunca dəyişməsi:

1 – təklif olunan üsulla, 2 – ənənəvi üsulla paradaqlama

Dişin dibinə yaxın bölgələrdə kəsmə dərinliyi nisbətən böyük qiymətlər aldığından, uyğun olaraq bu bölgələrdə nahamarlıq göstəricilərinin də nisbətən böyük qiymətləri müşahidə olunur. Belə ki, təklif olunan üsulla dişparadaqlamada evolvent profilin başlanğıcında $R_{amax} = 0,113 \text{ mkm}$ təmin edildiyi halda (şəkil 4, a, 1 əyrisi), ənənəvi üsulla dişparadaqlamada orta hesabı sapma nisbətən yüksək qiymət $R_{amax} = 0,178 \text{ mkm}$ (şəkil 4, a, 2 əyrisi) alır. Beləliklə, maili yerləşdirilmiş diş paradaqladıqda onun evolvent profilinin başlanğıcı ətrafında səthin kələ-kötürlüyünün şaquli yerləşmiş dişə nisbətən ~36,5 % azalması müşahidə olunur.

Kələ-kötürlüyün maksimum hündürlüyü üzrə maili yerləşmiş dişlərin paradaqlanmasında təcrübələrdən alınan nəticələr şəkil 4,b-də təqdim olunur. Profil kələ-kötürlüyünün ən böyük hündürlüyünün paralel ölçmələrin orta qiyməti dişin zirvəsinə yaxın bölgəsində $R_{max} = 0,598 \text{ mkm}$, dişin ortasında $R_{max} = 0,628 \text{ mkm}$ və evolvent profilin başlanğıcına yaxın bölgəsində isə $R_{max} = 0,732 \text{ mkm}$ alınıb (şəkil 4,b, 2 əyrisi).

Şaquli yerləşmiş diş mövcud üsulla paradaqlamada isə profil nahamarlığının ən böyük hündürlüyünün paralel ölçmələr üzrə orta qiyməti dişin zirvəsinə yaxın bölgəsində $R_{max} = 0,713 \text{ mkm}$, dişin ortasında $R_{max} = 0,771 \text{ mkm}$, evolvent profilin başlanğıcına yaxın bölgəsində $R_{max} = 0,986 \text{ mkm}$ alınıb (şəkil 4,b, 1 əyrisi).

Profil nahamarlığının on nöqtə üzrə hündürlüyünün orta qiyməti R_z üzrə də analoji nəticələr müşahidə olunub.

Şəkillərdə göstəriləndi kimi nahamarlıq parametrlərinin profil boyunca dəyişməsi parabolik asılılıqlara uyğun baş verir. Bu qanunauyğunluq evolvent profili boyunca kəsmə dərinliyinin dəyişməsi qanunauyğunluğu ilə izah edilir. Kəsmə dərinliyinin dəyişməsi qanunauyğunluğu nahamarlıq parametrlərinin formalaşmasına birbaşa təsir edirsə də, onun nəticəsi olan kəsmə şəraitinin, kəsmə qüvvəsinin, kəsmə bölgələrində baş verən elastiki-plastiki və termiki deformasiyaların, fiziki-mexaniki-kimyəvi proseslərin müxtəlifliyinin, nisbətən yüksək temperaturlu istiliyin, istiliyin əlverişli ötürülmə şəraitinin olmaması və s.-nin dolayı təsiri labüddür. Nəticədə paradaqlanmış səthlərin fərqli keyfiyyət göstəriciləri formalaşır.

Beləliklə, əyrixətli profilə malik fasonlu səthlərin elementar bölgələrinin paradaqlama zonasında maksimum mailiyini təmin etməklə paradaqlanması emal olunmuş səthin minimum nahamarlığının təmin edilməsinə zəmin yaradır. O cümlədən, paradaqlanacaq diş mümkün qədər maksimum maili yerləşdirməklə sürətköçürmə ilə paradaqlama onun işçi səthlərinin nahamarlıq üzrə keyfiyyət göstəricilərinin mövcud üsulla dişparadaqlamaya nisbətən 36,5 %-dək yüksəlməsini təmin edir.

Emal keyfiyyətinin və səmərəliliyinin formalaşmasında gedışlərin sayı xüsusi rol oynayır. Odur ki, analoji təcrübələr də aparılmalı və gedışlərin sayının azaldılması həm texniki və həm də iqtisadi baxımdan əsaslandırılmalıdır [19]. Belə ki, alınmış nəticələrin sürətköçürmə ilə paradaqlamada gedışlərin sayı, kəsmə dərinliyi baxımından müqayisəsi ilə müəyyən edilib ki, gedışlərin sayının üç qəbul edilməsi nəticəsində də təklif olunan üsulla paradaqlanma rejimi ənənəvi üsulla dörd gedışli paradaqlamaya nisbətən yüngül alınır. Yəni, bu halda da evolvent profilin nahamarlıq tələblərinin təmin edilməsi şəraiti mövcud olur. Eyni zamanda, dişlərin paradaqlanmasına sərf olunan maşın vaxtının əsaslı sürətdə azaldılması ehtimalı yaranır.

Nəticə

1. Fasonlu səthləri fasonlu pardaq dairəsi ilə sürətköçürmə ilə paradaqladıqda faktiki kəsmə dərinliyi fasonlu profil boyunca dəyişir, elementar kəsmə bölgələrində gedən fiziki-mexaniki-kimyəvi proseslər də dəyişkən olur, səthdə analoji emal xətalrı yaranır, onun keyfiyyət göstəriciləri aşağı alınır, emal səmərəliliyi təmin edilmir.

2. Əməliyyatın texnoloji imkanları çərçivəsində kəsmə dərinliyinin fasonlu profil boyunca müntəzəmliyinin təmin edilməsi mexanizmi kimi verişin istiqamətinin və ya fasonlu profilin vəziyyətinin idarə edilməsi təklif edilir.

3. Dişli çarxlarda evolvent profilin diş mümkün qədər maksimum maili yerləşdirməklə sürətköçürmə ilə paradaqlanması onun işçi səthlərinin nahamarlıq üzrə keyfiyyət göstəricilərinin dişin şaquli yerləşdirilərək paradaqlanmasına nisbətən 36,5 %-dək yüksəlməsini təmin edir.

Ədəbiyyat

1. И.А. Дружинский. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1985. - 263 с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х Т /Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др., М.: Машиностроение, 2003, 912 с., 944 с.
3. Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. Металлорежущие инструменты. Справочник конструктора. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
4. DeGarmo. Materials and Processes in Manufacturing. 11th, Edition, J.T. Black, Ronald a. Kohser, Barney E. Klamecki, John Wiley & Sons, *North Carolina, United States*, 2011, 1184 p.
5. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения/Б.М.Базров. -М., Машиностроение, 2005,-736 с.
6. Fritz Klocke, Wilfried König, Fertigungsverfahren, Schleifen, Honen, Läppen.4., neu bearbeitete Aufgabe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, 494 p.
7. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с.
8. Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф. Технология шлифования в машиностроении. Санкт-Петербург: Политехника, 2007, 423 с.
9. Технология производства и методы повышения качества зубчатых колес и передач // Под общ. ред. В.Е. Старжинского и М.М. Кане. – СПб: Профессия, 2007. –832 с.
10. Н.М. Расулов, Э.Т. Шабиев. Повышение эффективности шлифования зубьев зубчатых колес методом копирования на основе управление глубину резания. Известия ВУЗ-ов, Машиностроения, МГТУ, имени Н. Е. Баумана, 2017, № 2, 71-78.
11. Расулов Н.М., Шабиев Э.Т. Нестабильность глубины резания при шлифовании зубьев зубчатых колес методом копирования. Известия ВУЗ-ов Машиностроения, 2016, № 12, с. 65-73.
12. Rasulov N.M., Mammadov A. S., Shabiyev E. T. Change in the cutting depth of teeth grinding wheels in the way of the copying and stability. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, Warsaw, Poland. 2016. № 11, .part 2, p. 61-66.
13. Дальский А.М., Васильев А.С., Кондаков А.И. Технологическое наследование и направленное деформирование эксплуатационных свойств изделий машиностроения. Известия вузов. М.: Машиностроение, 1996, с. 70-76.
14. А.Г. Суслов, А.М. Дальский. Научные основы технологии машиностроения. Москва. «Машиностроение» 2002, 684 с.
15. Canəhmədov Ə.X. Tribotexnika. - Bakı: Elm, 1998. – 220 s.
16. İbrahimov N.Y. Dişli çarxların dişlərinin səthlərində abraziv yeyilmə prosesinin tədqiqi. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2018. T.10, №1. S. 37-40.
17. Калашников А.С., Калашников П.А. Влияние операции зубошлифования на эксплуатационные параметры цилиндрических зубчатых передач. Инженерный журнал. Справочник №6, М.: Машиностроение, 2006, с. 20-23.
18. Дроздов Ю.Н., Юдин Е. Г., Белов А.И. Прикладная трибология (Трение, износ, смазка в технологических системах). Москва. Эко-Пресс, 2010, с. 604.
19. Старков В.К., Рябцев С.А., Горин Н.А. Техничко-экономическое обоснование выбора количества проходов при глубинном шлифовании // Вестник МГТУ «Станкин». М.: 2011. №1. С. 38-42.

References

1. İ.A. Drujinskiy. Slojnie poverxnosti: Matematiceskoe opisanie i texnologiceskoe obespecenie. Spravocnik. – L.: Mashinostroenie, 1985. – 263 s.
2. Spravocnik tehnoloqa mashinostroitelya. V 2-x T/ Pod red. A.M. Dalskoqo, A.Q. Kosilovoy, P.K. Mesheryakova i dr., M.: Mashinostroenie, 2003, 912 s., 944 s.
3. E.E. Feldshteyn, M.A. Kornievic. Metallorejushie instrumenti. Spravocnik konstruktora. – Minsk: Novoe znanie, 2009. – 1039 s.
4. DeGarmo. Materials and Processes in Manufacturing. 11th, Edition, J.T. Black, Ronald a. Kohser, Barney E. Klamecki, John Wiley & Sons, *North Carolina, United States*, 2011, 1184 p.
5. Bazrov B.M. Osnovi texnoloqii mashinostroeniya/ B.M. Bazrov. - M., Mashinostroenie, 2005, - 736 s.
6. Fritz Klocke, Wilfried König, Fertigungsverfahren, Schleifen, Honen, Läppen.4., neu bearbeitete Aufgabe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, 494 p.
7. Kalashnikov A.S. Texnoloqiya izqotovleniya zubcatix koles. M.: mashinostroenie, 2004, 480 s.

8. Kremen Z.I., Yurev V.Q., Baboshkin A.F. Texnologiya shlifovaniya v mashinostroenii. Sankt-Petepbyrq: Politehnika, 2007, 423 s.
9. Texnologiya proizvodstva i metodi povisheniya kachestva zubcatix koles i peredac // Pod obsh. red. V.E. Starjinskoqo i M.M. Kane. – SPb: Professiya, 2007. – 832 s.
10. N.M. Rasulov, E.T. Shabiyev. Povishenie effektivnosti shlifovaniya zubev zubcatix koles metodom kopirovaniya na osnove upravlenie qlubinu rezaniya. Izvestiya VUZ-ov, Mashinostroeniya, MQTU, imeni N.E. Bauman, 2017, № 2, 71-78,
11. Rasulov N.M., Shabiyev E.T. Nestabilnost qlubini rezaniya pri shlifovanii zubev zubcatix koles metodom kopirovaniya. Izvestiya VUZ-ov, Mashinostroeniya, 2016, № 12, s. 65-73.
12. Rasulov N.M., Mammadov A. S., Shabiyev E.T. Change in the cutting depth of teeth grinding wheels in the way of the copying and stability. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal), Warsaw, Poland. 2016. № 11, .part 2, p. 61-66.
13. Dalskiy A.M., Vasilev A.S., Kondakov A.I. Texnologiceskoe nasledovanie i napravlennoe deformirovanie ekspluatatsionnix svoystv izdeliy mashinostroeniya. Izvestiya vuzov. M.: Mashinostroenie, 1996, s. 70-76.
14. A.Q. Suslov, A.M. Dalskiy. Naucnie osnovi texnologii mashinostroeniya. Moskva. Mashinostroenie, 2002, 684 s.
15. Canahmadov Ə.X. Tribotexnika. - Bakı: Elm, 1998. – 220 s.
16. İbrahimov N.Y. Dishli çarxların dişlərinin sethlerinde abraziv yeyilmə prosesinin tədqiqi. // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2018. T.10, №1. S. 37-40.
17. Kalashnikov A.S., Kalashnikov P.A. Vliyanie operacii zuboshlifovaniya na ekspluatatsionnie parametri cilindricheskix zubcatix peredac. Injenerniy jurnal. Spravocnik №6, M.: Mashinostroenie, 2006, s. 20-23.
18. Drozdov Y.N., Yudiy E.Q., Belov A.I. Prikladnaya tribologiya (Trenie, iznos, smazka v texnologicheskix sistemax). Moskva. Eko-Press, 2010, s. 604.
19. Starkov V.K., Ryabcev S.A., Qorin N.A. Texniko - ekonomiceskoe obosnovanie vibora kolicestva proxodov pri qlubinnom shlifovanii // Vesnik MQTU Stankin. 2011. №1. S. 38-42.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С КОПИРОВАНИЕМ

Расулов Н.М., Алекберов М.З., Шабиев Е.Т., Мамедов А.С.

Азербайджанский Технический Университет

Шлифование с копированием фасонных поверхностей, предусмотренное в конструкции различных деталей машин и авиационного оборудования и инструментов, обеспечивает высокую точность обработки и производительность. При этом, из-за различия углов расположения элементарных частей профиля в зоне резания, подлежащих шлифовке, изменяются фактические глубины резания вдоль профиля, в результате чего возникают аналогичные погрешности обработки. В работе исследуется механизм изменения фактической глубины резания при шлифовании с копированием фасонных поверхностей, определяется направление обеспечения ее максимальной стабильности по профилю, а также решается задача по повышению качества и эффективности шлифования с использованием технологических возможностей операции. Эксперименты показали, что, когда шлифуемые зубы колеса располагаются, по возможности, максимально наклонно в зоне шлифования, то при шлифовке поверхности звольвентного профиля обеспечивается уменьшение неровности шлифованной поверхности до 36,5 %, по сравнению с традиционным шлифованием, повышается качество обработки.

Ключевые слова: *шлифовка, копирование, шестерня, глубина резания, различия, направление, наклонно, качество, повышение.*

**IMPROVING THE GRINDING EFFICIENCY OF SHAPED SURFACES
WITH COPYING METHOD**

Rasulov N.M., Alakbarov M.Z., Shabiev E.T, Mammadov A.S.

Azerbaijan Technical University

Grinding with the copying of shaped surfaces, provided in the design of various machine parts and aircraft equipment and tools, ensures high processing accuracy and productivity.

In this case, due to the difference in the angles of arrangement of the elementary parts of the profile in the cutting zone to be ground, the actual cutting depths along the profile change, as a result of which similar processing errors occur. The work investigates the mechanism for changing the actual depth of cutting during grinding with copying of shaped surfaces, determines the direction to ensure its maximum stability along the profile, and also solves the problem of improving the quality and efficiency of grinding by using the technological capabilities of the operation. The experiments showed that when the grinding teeth of the wheel are located, as far as possible, as inclined as possible in the grinding zone, then when grinding the surface of the solvent profile, the roughness of the polished surface is reduced to 36.5%, compared with traditional grinding, the quality of processing improves.

Keywords: grinding, copying, gear, cutting depth, differences, direction, quality, increase.

Rəyçi: *t.e.d., prof. Ə.X. Cənəhmədov*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Rəsulov Nəriman Moğbil oğlu	Azərbaycan Texniki Universiteti	“Maşınqayırma texnologiyası” kafedrası t.e.d., prof.	nariman.rasulov@aztu.edu.az (+994) 50 359 54 97
Ələkbərov Mürsəl Zabit oğlu	Azərbaycan Texniki Universiteti	“Maşınqayırma texnologiyası” kafedrası doktorant	mursal.alakbarov@mail.ru (+994) 55 425 69 00
Şəbiyev Elgün Tağı oğlu	Azərbaycan Texniki Universiteti	“Maşınqayırma texnologiyası” kafedrası baş müəllim, t.f.d.	elgun@aztu.edu.az , (+994) 50 477 57 51
Məmmədov Ərəstun Salman oğlu	Azərbaycan Texniki Universiteti	“Maşınqayırma texnologiyası” kafedrası t.f.d, dosent	arastun.mammadov@aztu.edu.az (+994) 50 325 96 08