

UO‘K: 621.01

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.42

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

TOLA AJRATGICH KOLOSNIGI ALMASHINUVCHI ELEMENTINING ISHCHI YUZASINI ULTRATOVUSHLI ISHLOV BERISH ORQALI QATTIQLIGINI OSHIRISH TADQIQOTLARI



Axmedov Xamidulla Abduxoshimovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T. O'razboyev
nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti
yetakchi ilmiy xodimi, texnika fanlari doktori (DSc), Toshkent,
O'zbekiston

E-mail: hamidullaakhmedov@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-0491-6644



Xaydarova Marjona Xayotovna

Buxoro tumani yerlarni auksionga chiqarish bo'limi mutaxassisi,
Buxoro, O'zbekiston

E-mail: khaydarovamarjona96@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada 4DP-130 rusumli arrali tola ajratgich kolosnigining ishchi qismiga o'rnatiladigan almashinuvchi elementning ishchi yuzasini ultratovushli ishlov berish orqali qattiqligini oshirish masalasi tadqiq etilgan. Element materiali sifatida O'zbekistonda keng tarqalgan va iqtisodiy jihatdan qulay bo'lgan Po'lat 45 tanlangan. 22 kGs chastota, 10–25 mkm amplituda va 200 N statik kuch sharoitlarida ishlov berish rejimlari o'rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, $A=20$ mkm, $P=200$ N va $n=2$ o'tishdan iborat optimal rejimda yuza qattiqligi 210 HV dan 480 HV gacha, ya'ni 2,3 marta oshgan, qattiq lashtirilgan qatlam chuqurligi taxminan 200 mkm ni tashkil etgan. Yuza g'adir-budurligi Ra 1,25 mkm dan 0,34 mkm gacha, paxta tolasi bilan ishqalanish koeffitsiyenti esa 0,34 dan 0,23 gacha kamaygan. Abrziv yeyilishning 45% ga kamayishi ultratovushli ishlov berishning almashinuvchi elementning xizmat muddatini oshirishdagi samaradorligini ko'rsatdi. Olingan natijalar paxta tozalash mashinalarining ishchi organlarini mahalliy Po'lat 45 asosida modernizatsiya qilish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: tola ajratgich, kolosnik, almashinuvchi element, ultratovushli ishlov berish, yuza qattiqligi, Po'lat 45, paxta tolasi, ishqalanish koeffitsiyenti, yeyilishga chidamlilik, g'adir-budurlik, qattiq lashtirilgan qatlam, plastik deformatsiya, nanostruktura.

Received: 29.08.2026

Accepted: 22.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТВЁРДОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СМЕННОГО ЭЛЕМЕНТА КОЛОСНИКА ВОЛОКНООТДЕЛИТЕЛЯ ПУТЁМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Ахмедов Хамидулла Абдухошимович

Ведущий научный сотрудник Института механики и
сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики Узбекистан, доктор технических
наук (DSc), Ташкент, Узбекистан

Хайдарова Маржона Хайтовна

Специалист отдела по выставлению земель Бухарского
района на аукцион, Бухара, Узбекистан

Аннотация. В статье исследован вопрос повышения твёрдости рабочей поверхности сменного элемента колосника пильного волокноотделителя 4ДП-130 методом ультразвуковой обработки. В качестве материала сменного элемента выбрана сталь 45, широко распространённая и экономически доступная в Узбекистане. Исследованы режимы обработки при частоте 22 кГц, амплитуде 10–25 мкм и статическом усилии 200 Н. Установлено, что при оптимальном режиме обработки $A = 20$ мкм, $P = 200$ Н и $n = 2$ прохода твёрдость поверхности увеличивается с 210 HV до 480 HV, то есть в 2,3 раза, а глубина упрочнённого слоя составляет около 200 мкм. Шероховатость поверхности Ra снижается с 1,25 до 0,34 мкм, а коэффициент трения с хлопковым волокном — с 0,34 до 0,23. Снижение абразивного износа на 45% подтверждает эффективность ультразвуковой обработки для повышения долговечности сменного элемента. Полученные результаты имеют практическое значение для модернизации рабочих органов хлопкоочистительных машин с использованием стали 45 местного производства.

Ключевые слова: волокноотделитель, колосник, сменный элемент, ультразвуковая обработка, твёрдость поверхности, сталь 45, хлопковое волокно, коэффициент трения, износостойкость, шероховатость, упрочнённый слой, пластическая деформация, наноструктура.

STUDIES ON INCREASING THE HARDNESS OF THE WORKING SURFACE OF THE REPLACEABLE ELEMENT OF A FIBER SEPARATOR GRID BAR BY ULTRASONIC TREATMENT

Akhmedov Khamidulla

Leading Researcher, M.T. Urazbaev Institute of Mechanics and
Seismic Stability of Structures, Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Doctor of Technical Sciences (DSc),
Tashkent, Uzbekistan

Khaydarova Marjona

Specialist, Department for Putting Land Plots of Bukhara District
up for Auction, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the improvement of the working-surface hardness of a replaceable insert of the grid bar of a 4DP-130 saw-type cotton fiber separator using ultrasonic treatment. Steel 45, which is widely available and economically advantageous in Uzbekistan, was selected as the insert material. Treatment regimes were investigated at a frequency of 22 kHz, amplitudes of 10–25 μm , and a static force of 200 N. The results showed that under the optimal treatment regime of $A = 20$ μm , $P = 200$ N, and $n = 2$ passes, the surface hardness increased from 210 HV to 480 HV, corresponding to a 2.3-fold increase, while the hardened layer depth reached approximately 200 μm . Surface roughness Ra decreased from 1.25 to 0.34 μm , and the friction coefficient with cotton fiber decreased from 0.34 to 0.23. A 45% reduction in abrasive wear confirms the effectiveness of ultrasonic treatment in improving the service life of the replaceable insert. The obtained results are of practical importance for the modernization of working components of cotton-processing machines using locally available Steel 45.

Keywords: fiber separator, grid bar, replaceable insert, ultrasonic treatment, surface hardness, Steel 45, cotton fiber, friction coefficient, wear resistance, surface roughness, hardened layer, plastic deformation, nanostructure.

Kirish. Paxta tozalash sanoati O'zbekiston iqtisodiyotining strategik tarmoqlaridan biridir. Tolaning sifati va uni ajratib olish samaradorligi ko'p jihatdan arrali tola ajratgich ishchi organlarining texnik holatiga bog'liq. Arrali tola ajratgichning ishchi kamerasi arralar barabani va kolosniklar (panjara tayoqchalari) to'plamidan tashkil topgan. Aylanuvchi arralarning tishlari kolosniklar orasidagi tirqishlar orqali chigitli paxta

g'altagiga kirib, tolani ilib oladi va uni chigitdan ajratib chiqaradi.

Ishlash jarayonida kolosniklarning ishchi yuzasi chigit, tola va mayda iflosliklar bilan uzluksiz aloqada bo'lib, kuchli abraziv yeyilishga uchraydi. Yeyilish natijasida kolosnik ishchi qirrasining geometriyasi buziladi va tirqish o'lchami o'zgaradi. Bu esa tola chiqishining kamayishiga, tolaning shikastlanishi ortishiga

hamda tola ajratgich ish unumdorligining pasayishiga olib keladi. Butun kolosnikni almashtirish iqtisodiy jihatdan qimmatga tushganligi sababli, uning eng ko'p yeyiladigan ishchi qismiga alohida almashinuvchi element (insert) o'rnatish maqsadga muvofiqdir: element yeyilganda, faqat uning o'zi almashtiriladi.

Almashinuvchi elementning samaradorligi ikki asosiy ko'rsatkichga bog'liq: yuza qattiqligi (yeyilishga chidamlilik) va tola bilan ishqalanish xususiyati. Ishqalanish ko'effitsiyenti me'yoridan yuqori bo'lsa, tola uzilib, shikastlanadi va quvvat sarfi ortadi; juda past bo'lsa, tolaning ishonchli ilinish darajasi pasayadi. Shu bois ishchi yuzani bir vaqtning o'zida qattiq lashtirish va uning ishqalanish xususiyatlarini maqbul qiymatga keltirish talab etiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. So'nggi o'n yillikda metall detallar yuzasining qatlamini mustahkamlashda ultratovushli ishlov berish (xorijiy manbalarda ultrasonic nanocrystal surface modification — UNSM yoki ultrasonic impact treatment — UIT) usuli jadal rivojlanmoqda. Usulning mohiyati 20 kGs atrofidagi chastotada tebranuvchi qattiq qotishmali indentorning yuzaga yuqori chastotali zarbalar berishi natijasida kuchli plastik deformatsiya (severe plastic deformation, SPD) hosil qilishdan iborat.

Cao, Pyoun va Murakami [1] UNSM usulini aynan $S_{45}C$ po'latida (O'zbekistonda qo'llaniladigan Po'lat 45 ning xalqaro ekvivalenti) tadqiq etib, zarba zichligini oshirish (34 000–68 000 zarba/mm²) natijasida nanostrukturali qatlam qalinligi 2 mkm dan 30 mkm gacha ortishini, mikroqattqlik, g'adir-budurlik va siquvchi qoldiq kuchlanish ko'rsatkichlari yaxshilanishini hamda charchoq mustahkamligi 33% gacha oshishini aniqladilar. Muhim jihati shundaki, g'adir-budurlik R_a 1,49 mkm dan 1,0 mkm gacha kamaygan. Bu natijalar tanlangan material — Po'lat 45 — UTIBga yaxshi javob berishini bevosita tasdiqlaydi.

Wu va hammualliflari [2] toblangan va bo'shatilgan $S_{45}C$ po'latida statik kuch (50–70 N) hamda zarba zichligining ta'sirini o'rganib, optimal statik kuch ~50 N ekanini va charchoq mustahkamligi 464 MPa dan ~550 MPa gacha oshishini ko'rsatdilar. Ayni paytda, zarba zichligi haddan tashqari yuqori bo'lganda (68 000 mm⁻²), yuzada mo'rt qatlam va mikroyoriqlar paydo bo'lishini

qayd etdilar. Bu ishlov berish parametrlarining optimal qiymati mavjudligini va ularni haddan tashqari oshirish yuza shikastlanishiga olib kelishini isbotlaydi; mazkur xulosa bizning tajribamizda $A = 25$ mkm bo'lganda g'adir-budurlikning ortish tendensiyasi bilan mos keladi.

Wu, Wang va boshqalar [3] UNSM don o'lchamini nanostruktura darajasigacha maydalab, yuzani deyarli shikastlamagan holda qattiq lashtirishini va hatto g'adir-budurlikni yaxshilashini ko'rsatdilar. Shu bilan ular UTIBning an'anaviy zarbaviy mustahkamlash usullaridan, masalan, drob bilan otishdan (shot peening), ustunligini asosladi: shot peening yuqori qoldiq kuchlanish hosil qiladi, biroq yuzada nuqsonlar paydo bo'lishiga va g'adir-budurlikning ortishiga olib keladi.

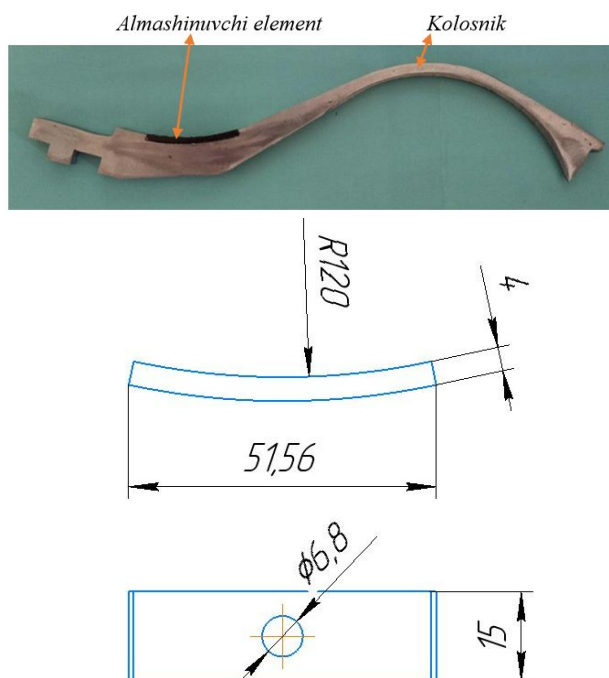
Tribologik yo'nalishda Amanov, Pyun va Sasaki [4] UNSM yuza pardozini yaxshilashi, siquvchi qoldiq kuchlanish hosil qilishi va mikrochuqurchali (micro-dimple) tuzilma shakllantirishi hisobiga ishqalanish hamda yeyilishni kamaytirishini ko'rsatdilar. Chang, Pyun va Amanov [5] ushbu usulni temiryo'l relsi (60 kgK po'lati)da qo'llab, g'ildirak–rels juftligining yeyilishga chidamliligini oshirdilar. Magazov va boshqalar [6] AISI 52100 podshipnik po'latida yeyilish hajmi ishqalanish ko'effitsiyenti va qattqlik bilan bog'liqligini aniqladilar, ya'ni qattqlikni oshirish orqali ishqalanish va yeyilishni bir vaqtda boshqarish mumkin.

Umumlashtiruvchi sharhlar [7, 8] UNSM yuzaning qattiqligi, siquvchi qoldiq kuchlanish, charchoq va yeyilishga chidamliligini oshirishning samarali vositasi ekanini tasdiqlaydi. Masalan, titan qotishmalarida qattqlik 190 HV dan 385 HV gacha oshgan, donlarning maydalanish darajasi esa zarba yuki ortishi bilan chuqurlashgan.

Yuqoridagi tahlildan ko'rinadiki, xorijiy tadqiqotlar UTIB samaradorligini ishonchli tarzda isbotlagan. Biroq ular asosan aviatsiya, avtomobilsozlik, podshipnik, temiryo'l va tibbiyot sohalari uchun mo'ljallangan qimmatbaho legirlangan yoki maxsus po'latlar hamda qotishmalarga, shuningdek, charchoq va moylanadigan metall–metall juftliklariga qaratilgan. “Qattiq po'lat yuza — quruq paxta tolasi” tribologik juftligi, ya'ni paxta tozalash mashinalarining ishchi organlariga nisbatan UTIB deyarli o'rganilmagan. Bundan tashqari,

podshipniklar uchun foydali bo'lgan mikro-chuqurchali tuzilma tola bilan kontaktda maqbul emas; bu yerda tolani ilishtirmaydigan silliq va qattiq yuza talab etiladi. Demak, parametrlarni aynan ushbu qo'llanish sohasi uchun qayta optimallashtirish zarur.

Tadqiqot obyekti — 4DP-130 arrali tola ajratgich kolosnigining ishchi qismiga vint orqali biriktiriladigan egri almashinuvchi element. Elementning tashqi ishchi yuzasi R120 mm radius bo'yicha egilgan; yoy bo'yicha uzunligi 51,56 mm, eni 15 mm, qalinligi 4 mm, biriktirish teshigining diametri esa $\varnothing 6,8$ mm ni tashkil etadi (1-rasm). Egri yuza kolosnikning arralarga qaragan ishchi profiliga mos keladi.



1-rasm. Almashinuvchi elementning (insertning) chizmasi va asosiy o'lchamlari.

Element materiali sifatida o'rtacha uglerodli konstruksion Po'lat 45 (GOST 1050) tanlandi. Mazkur po'lat O'zbekistonda, jumladan, Bekabad metallurgiya kombinati mahsulotlari orqali keng tarqalgan, nisbatan arzon va oson topiladi. Shuningdek, u yaxshi mexanik ishlanadi hamda termik va sirtiy mustahkamlash usullariga yaxshi javob beradi. Uning xalqaro ekvivalenti — yuqorida tahlil qilingan tadqiqotlarda [1, 2] samarali natijalar bergan S₄₅C po'latidir. Materialning kimyoviy tarkibi 1-jadvalda keltirilgan. Ishlov berishdan oldin

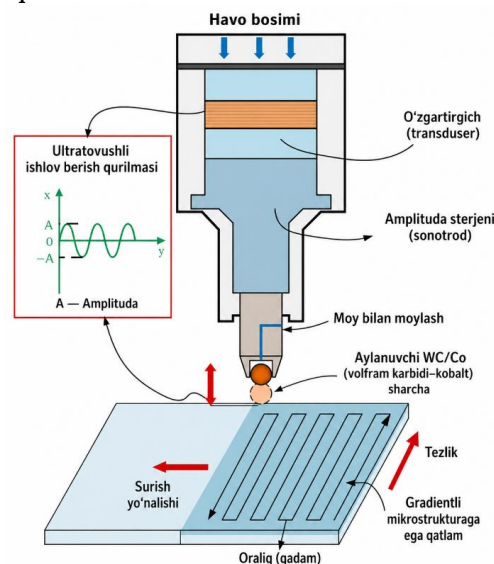
element normalizatsiyalangan holatda bo'lib, uning dastlabki qattiqligi 210 HV ni tashkil etdi.

1-jadval

Po'lat 45 ning kimyoviy tarkibi (GOST 1050), %
(massa bo'yicha)

C	Si	Mn	Cr (ko'pi bilan)	S (ko'pi bilan)	P (ko'pi bilan)
0,42–0,50	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25	0,040	0,035

Ishlov berish ultratovushli generator, magnitostriksion konverter, konsentrator (to'lqin uzatgich) va qattiq qotishmadan (WC) tayyorlangan sharsimon indentordan iborat qurilmada amalga oshirildi (2-rasm). Indentor statik kuch ta'sirida yuzaga bosiladi va ultratovush chastotasida tebranib, unga yuqori chastotali zarbalar beradi. Ishlov berish rejimlari 2-jadvalda keltirilgan; asosiy o'zgaruvchan omil sifatida tebranish amplitudasi A qabul qilindi.



2-rasm. Almashinuvchi element yuzasini ultratovushli ishlov berish sxemasi.

2-jadval

Ultratovushli ishlov berish rejim parametrlari

Parametr	Belgisi	Qiymati
Tebranish chastotasi	f, kGs	22
Tebranish amplitudasi	A, mkm	10; 15; 20; 25
Statik kuch	P, N	200
Indentor (WC shar) diametri	D, mm	8
Uzatma tezligi	v, mm/min	100
Yo'l qadami	s, mm	0,05
O'tishlar soni	n	2

Yuza qattiqligi Vickers usulida (yuklama — 0,2 kgk) o'lchandi; qattiqlashtirilgan qatlam chuqurligi ko'ndalang kesim bo'yicha mikro-qattqlik taqsimoti asosida aniqlandi. Yuza g'adirbudurligi Ra profilometr yordamida o'lchandi.

Paxta tolasi bilan ishqalanish koeffitsiyenti f maxsus tribometrda tola tutamini ishlov berilgan yuza bo'ylab tortish orqali aniqlandi. Yeyilishga chidamlilik abraziv sinov jarayonida namuna massasining kamayishi asosida baholanib, ishlov berilmagan namunaga nisbatan foizlarda ifodalandi. Har bir tajriba uch marta takrorlandi va o'rtacha qiymat hisoblandi.

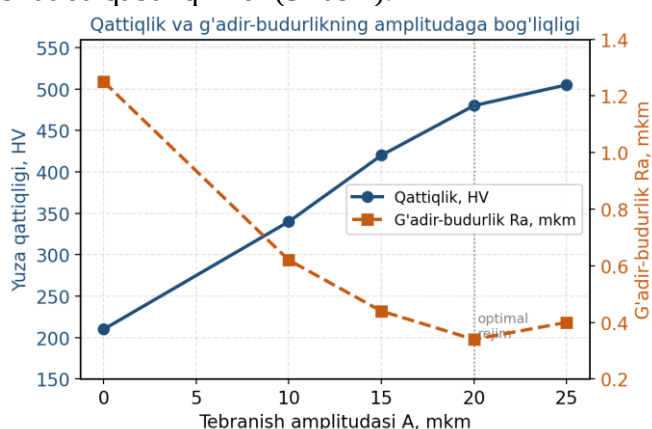
Natijalar. Ultratovushli ishlov berish rejimi parametrlarining yuza qattiqligi, g'adir-budurli va ishqalanish koeffitsiyentiga ta'siri 3-jadvalda umumlashtirilgan.

3-jadval

Amplituda A ta'sirida yuza xarakteristikalarining o'zgarishi ($P=200\text{ N}$, $n=2$)

A, mkm	Qattqlik, HV	Ra, mkm	Qatlam, mkm	f (tola)
0 (dastlabki)	210	1,25	—	0,34
10	340	0,62	90	0,29
15	420	0,44	150	0,25
20	480	0,34	200	0,23
25	505	0,40	235	0,24

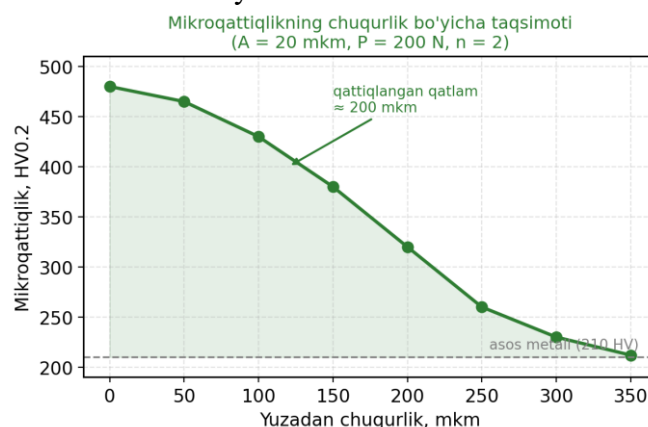
Amplitudaning ortishi bilan yuza qattiqligi muntazam ravishda oshib boradi: $A=25\text{ mkm}$ da u 505 HV ga yetadi, ya'ni dastlabki qiymatdan 2,4 marta yuqori bo'ladi. G'adir-budurlik Ra esa $A=20\text{ mkm}$ gacha kamayib, 0,34 mkm ni tashkil etadi, shundan so'ng amplitudaning ortishi bilan biroz ko'payadi. Bu holat ortiqcha zarba energiyasining yuzada mikronuqsonlar hosil qilishi bilan izohlanadi va Wu va boshqalarning [2] xulosalariga mos keladi. Shu bois $A=20\text{ mkm}$ optimal rejim sifatida qabul qilindi (3-rasm).



3-rasm. Yuza qattqligi va g'adir-budurlikning tebranish amplitudasiga bog'liqligi.

Optimal rejimda ($A=20\text{ mkm}$, $P=200\text{ N}$, $n=2$) mikroqattqlikning chuqurlik bo'yicha taqsimoti 4-rasmida keltirilgan. Eng yuqori qattqlik yuzada (480

HV) kuzatiladi va chuqurlik ortishi bilan asosiy metallning qiymatigacha (210 HV) bir tekis kamayadi. Qattqlashtirilgan qatlamning chuqurligi taxminan 200 mkm ni tashkil etadi, bu almashinuvchi elementning ishchi resursini ta'minlash uchun yetarlidir.



4-rasm. Mikroqattqlikning yuza bo'yicha chuqurlik kesimidagi taqsimoti (optimal rejim).

Olingan natijalar ultratovushli ishlov berishning yuqori chastotali zarbaviy plastik deformatsiya mexanizmi bilan izohlanadi hamda xorijiy tadqiqotlar [1, 3, 7] natijalari bilan yaxshi mos keladi. Indentorning uzluksiz zarbalari ta'sirida yuza qatlamida dislokatsiyalar zichligi keskin ortadi, donalar esa submikron va nanoo'lchamli darajagacha maydalanadi. Hall-Petch qonuniyatiga muvofiq, don o'lchamining kichrayishi materialning oquvchanlik chegarasi va qattqligini oshiradi. Bu holat yuzadagi qattqlikning 2,3 baravar ortishini tushuntiradi. Shu bilan birga, biz olgan natija (210→480 HV) Cao va boshqalar [1] hamda titan qotishmalari uchun keltirilgan ma'lumotlar (190→385 HV) [8] bilan bir tartibda.

Muhokama. Indentor yuzadagi mikro-qirralarni tekislagani sababli g'adir-budurlik Ra sezilarli darajada kamayadi. Silliq va qattiq yuza tola tutami bilan o'zaro ta'sirlashganda ishqalanish koeffitsiyentini pasaytiradi: tola yuza bo'ylab kamroq qarshilik bilan siljiydi. Bu, o'z navbatida, tolaning shikastlanishini va tola ajratgichning quvvat sarfini kamaytiradi. Magazov va boshqalar [6] ko'rsatganidek, yeyilish qattqlik va ishqalanish bilan bevosita bog'liq; demak, yuzani qattqlashtirish ayni vaqtda har ikkala ko'rsatkichni yaxshilaydi. Amplitudaning me'yoridan oshirilishi ($A=25\text{ mkm}$) esa ortiqcha deformatsiya va

mikronuqsonlarning paydo bo'lishiga olib keladi [2], natijada Ra biroz ortadi. Shuning uchun ishqalanish ko'effitsiyentining 0,23–0,25 oralig'idagi qiymati tolani ishonchli ilish va uni shikastlamaslik nuqtai nazaridan maqbul hisoblanadi.

Yuza qatlamiga kiritiladigan siquvchi qoldiq kuchlanishlar va donlarning maydalanishi yeyilishga chidamlilikni oshiradi: abraziv zarrachalar qattiq va zich yuzaga kamroq ta'sir ko'rsatadi. Natijada nisbiy yeyilish 45% ga kamaydi, bu esa almashinuvchi elementning xizmat muddatini taxminan 1,7–1,8 marta uzaytirish imkonini beradi. Amaliyot nuqtai nazaridan, bu kolosniklarni almashtirish chastotasini, tola ajratgichning to'xtab turish vaqtini va ehtiyot qismlarga sarflanadigan xarajatlarni kamaytiradi.

Ishning ilmiy yangiligi shundan iboratki, xorijiy tadqiqotlarda UTIB asosan qimmatbaho materiallar va metall–metall juftligi uchun qo'llangan bo'lsa, ushbu ishda mazkur usul arzon va mahalliy Po'lat 45 dan tayyorlangan tola ajratgich kolosnigi insertiga "po'lat–paxta tolasi" juftligini optimallashtirish maqsadida qo'llanildi. Bu 4DP-130 rusumli tola ajratgichlarni O'zbekistonda ta'mirlash va modernizatsiya qilishda mahalliy lashtirish darajasini oshirish imkonini beradi.

Xulosa. Xorijiy adabiyotlar tahlili ultratovushli ishlov berish yuza qattiqligi, siquvchi qoldiq kuchlanish va yeyilishga chidamlilikni oshirishning samarali usuli ekanini, xususan, S₄₅C (Po'lat 45) po'lati uchun ijobiy natijalar berishini tasdiqladi.

4DP-130 rusumli arrali tola ajratgich kolosnigining almashinuvchi elementi uchun O'zbekistonda arzon va keng tarqalgan Po'lat 45 materiali tanlandi hamda uning ishchi yuzasiga ultratovushli ishlov berish samaradorligi tajriba yo'li bilan tekshirildi.

Optimal ishlov berish rejimi aniqlandi: chastota — 22 kGs, amplituda — A=20 mkm, statik kuch — P=200 N, o'tishlar soni — n=2. Mazkur rejimda yuza qattiqligi 210 HV dan 480 HV gacha, ya'ni 2,3 marta oshdi; qattiqlangan qatlam chuqurligi ≈ 200 mkm ni tashkil etdi, g'adirdurlik ko'rsatkichi esa Ra=1,25 mkm dan 0,34 mkm gacha kamaydi.

Taklif etilgan yechim iqtisodiy jihatdan samarali bo'lib, 4DP-130 rusumli tola ajratgichlarni ta'mirlash va modernizatsiya qilishda amaliy qo'llanilishi mumkin. Kelgusi tadqiqotlarda ishlov berish rejimlarini javob yuzasi usuli (RSM) va genetik algoritm yordamida ko'p mezonli optimallashtirish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Cao, X. J., Pyoun, Y. S., & Murakami, R. (2010). Fatigue properties of a S45C steel subjected to ultrasonic nanocrystal surface modification. *Applied Surface Science*, 256(21), 6297–6303. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.04.007>
- [2] Wu, B., Zhang, J., Zhang, L., Pyoun, Y. S., & Murakami, R. (2014). Effect of ultrasonic nanocrystal surface modification on surface and fatigue properties of quenching and tempering S45C steel. *Applied Surface Science*, 321, 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.09.068>
- [3] Wu, B., Wang, P., Pyoun, Y. S., Zhang, J., & Murakami, R. (2013). Effect of ultrasonic nanocrystal surface modification on the fatigue behaviors of plasma-nitrided S45C steel. *Surface and Coatings Technology*, 213, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.10.063>
- [4] Amanov, A., Pyun, Y. S., & Sasaki, S. (2014). Effects of ultrasonic nanocrystalline surface modification (UNSM) technique on the tribological behavior of sintered Cu-based alloy. *Tribology International*, 72, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2013.12.003>
- [5] Chang, S., Pyun, Y. S., & Amanov, A. (2017). Wear enhancement of wheel-rail interaction by ultrasonic nanocrystalline surface modification technique. *Materials*, 10(2), Article 188. <https://doi.org/10.3390/ma10020188>
- [6] Magazov, N., Satbaeva, Z., Rakhadilov, B., & Amanov, A. (2023). A study on surface hardening and wear resistance of AISI 52100 steel by ultrasonic nanocrystal surface modification and electrolytic plasma surface modification technologies. *Materials*, 16(21), Article 6824. <https://doi.org/10.3390/ma16206824>

-
- [7] John, M., Kuruveri, U. B., & Menezes, P. L. (2022). Ultrasonic nanocrystal surface modification: Processes, characterization, properties, and applications. *Nanomaterials*, 12(9), Article 1415. <https://doi.org/10.3390/nano12091415>
- [8] Ye, H., Sun, X., Liu, Y., et al. (2021). Application of ultrasonic nanocrystal surface modification (UNSM) technique for surface strengthening of titanium and titanium alloys: A mini review. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 351–377. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.013>
- [9] Панин, В. Е., и др. (2015). Влияние ультразвуковой обработки на структуру и свойства поверхностного слоя конструкционных сталей. *Физическая мезомеханика*, (4), 5–14.
- [10] Мирошниченко, Ф. Д. (1985). Теория и расчёт рабочих органов джинов. Ташкент: Фан.
- [11] Джураев, А., & Максудов, Р. (2012). Технологические машины и оборудование хлопкоочистительного производства. Ташкент: Мехнат.
- [12] ГОСТ 1050. (n.d.). Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия.
- [13] Axmedov, X. (2024). Paxta tozalash mashinalari ishchi organlarining tebranish va konstruksion tahlili masalalari. *Mexanika muammolari*. Toshkent.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Axmedov, X. A., & Xaydarova, M. X. (2026). Tola ajratgich kolosnigi almashinuvchi elementining ishchi yuzasini ultratovushli ishlov berish orqali qattiqligini oshirish tadqiqotlari. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.42>
