ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

KOMBINATSIYALANGAN TERMIK VA MEXANIK ISHLOV ORQALI TISH G‘ILDIRAKLARINI MUSTAHKAMLASH

Norhudjaev F. R
I.Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti “Materialshunoslik” kafedrasi mudiri
E-mail: horhudjayev@mail.ru
Ashirov A. A
Olmaliq davlat texnika instituti “Mashinasozlik texnologiyasi” kafedrasi assistenti
E-mail: alisherashirov5053@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada tish g'ildiraklarini kombinatsiyalangan termik va mexanik ishlov berish usullari orqali mustahkamlash yo‘llari tadqiq etilgan. Tadqiqotda turli materiallar va texnologik rejimlar taqqoslab o‘rganilgan bo‘lib, sement qilish, azotlash, induksion qizitish hamda shot-pining jarayonlari birgalikda qo‘llanilganda qattiqlik va charchoq chidamliligi sezilarli darajada oshishi isbotlangan. Eksperimental sinovlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, kombinatsiyalangan usul qo‘llanilganda tish g'ildiragining xizmat muddati 2,3–2,8 barobargacha uzayadi. Maqola sanoat ahamiyatiga ega bo‘lgan yangi texnologik yechimlarni taklif etadi.

Kalit so‘zlar: tish g'ildirak, termik ishlov, mexanik mustahkamlash, sementlash, azotlash, induksion qizitish, shot-pining, qattiqlik, charchoq chidamliligi, yuzaki qatlam.

Аннотация. В данной статье исследуются методы упрочнения зубчатых колёс посредством комбинированной термической и механической обработки. В ходе экспериментального исследования изучены различные материалы и технологические режимы. Установлено, что совместное применение цементации, азотирования, индукционного нагрева и дробеструйного упрочнения значительно повышает твёрдость и усталостную прочность. Результаты испытаний показывают, что комбинированный метод увеличивает ресурс зубчатого колеса в 2,3–2,8 раза.

Ключевые слова: зубчатое колесо, термическая обработка, механическое упрочнение, цементация, азотирование, индукционный нагрев, дробеструйная обработка, твёрдость, усталостная прочность.

Abstract. This paper investigates the methods for strengthening gear wheels through combined thermal and mechanical processing. Various materials and technological regimes were comparatively studied. It was proven that the combined application of carburizing, nitriding, induction hardening and shot peening significantly increases hardness and fatigue resistance. Experimental results

ISSN 3030-3907

demonstrate that the combined method extends gear wheel service life by 2.3–2.8 times, presenting novel technological solutions of industrial significance.

Keywords: gear wheel, thermal treatment, mechanical hardening, carburizing, nitriding, induction heating, shot peening, hardness, fatigue resistance, surface layer.

KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlik va transport sanoatida tish g'ildiraklari eng muhim uzatish elementlaridan biri hisoblanadi. Avtomobil uzatma qutilaridan tortib og'ir sanoat uskunalari, turbinalar va robotik tizimlarigacha bo‘lgan ko‘plab mexanizmlarda tish g'ildiragi ishlatiladi. Shu sababli, ularning ishonchliligi va uzoq muddatli ishlashi sanoat samaradorligiga bevosita ta'sir ko‘rsatadi.

Tish g'ildiraklarining asosiy nosozliklari tishlarning charchoqdan sinishi (fatigue fracture), tish yuzasining yeyilishi (wear), pittingi (kontakt korroziyasi) va plastik deformatsiyasidir. Ushbu nosozliklarning oldini olish yoki ularni minimallashtirishning samarali yo‘li tish g'ildiraklarini ishlab chiqarish jarayonida maxsus mustahkamlash texnologiyalarini qo‘llashdir.

Termik ishlov berish (sementlash, azotlash, induksion qizitish) va mexanik mustahkamlash (shot-pining, roliklash) jarayonlarini birgalikda qo‘llash kombinatsiyalangan usul yuzaki qatlamning fizik-mexanikaviy xususiyatlarini keskin yaxshilashi bilan birga, materialning yadro qismini zarbasiga chidamli holda saqlab qoladi.

Mazkur maqolaning maqsadi, kombinatsiyalangan termik va mexanik ishlov berish texnologiyalarining tish g'ildiraklari mustahkamligiga ta'sirini kompleks tarzda tadqiq etish, yuqori samarali texnologik rejimlarni aniqlash va ishlab chiqarishga joriy etish uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishdir.

ADABIYOTLAR SHARHI.

Tish g'ildiraklarini mustahkamlash muammosi ilmiy adabiyotlarda keng ko‘rib chiqilgan. Yuqori sifatli sementlash va keyinchalik qattiqlash jarayonlari murakkab sharoitlarda ishlaydigan tish g'ildiraklari charchoq chidamliligini 40–70% ga oshirishini isbotlagan [1, 2]. Ushbu tadqiqotlar sementlash chuqurligi (0,8–2,5 mm) va martensit strukturasi ahamiyatini ko‘rsatadi.

Azotlash texnologiyasi asosida olib borilgan tadqiqotlarda azotlangan g'ildiraklarda yuzaki qatlamda siquvchi qoldiq kuchlanishlar (compressive residual stresses) hosil bo‘lishi aniqlangan [3]. Bu holat tishlarning charchoqdan sinishiga qarshiligini sezilarli darajada oshiradi.

So‘nggi yillarda shot-pining texnologiyasining termik ishlov bilan kombinatsiyalashuvini o‘rganishga qiziqish ortib bormoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sementlash yoki azotlashdan so‘ng shot-pining qo‘llanilganda tish

ISSN 3030-3907

yuzasida qo‘shimcha siquvchi kuchlanishlar va nanostrukturali qatlam hosil bo‘ladi [4, 5].

O‘zbekiston sharoitida ushbu texnologiyalarning sanoatda qo‘llanilishiga bag'ishlangan tadqiqotlar hali yetarlicha amalga oshirilmagan [6]. Mahalliy mashinasozlik korxonalarida asosan faqat sementlash yoki azotlash alohida qo‘llaniladi, kombinatsiyalangan usul esa juda kam hollarda tatbiq etiladi.

1-jadval

Mustahkamlash usullariga oid asosiy adabiyot manbalari tahlili

№	Muallif(lar)	Tadqiqot yo‘nalishi	Asosiy natija	Yil
1	Asi, M. va boshq.	Sementlash + qattiqlash rejimi	HRC 58–62 qattiqlik	2020
2	Liu, J. va boshq.	Azotlash chuqurligi ta'siri	Qoldiq kuchlanishlar +320 MPa	2021
3	Zhang, H. va boshq.	Shot-pining + sementlash	Charchoq chidamliligi +58%	2022
4	Fernandez-Pariente va boshq.	Induksion + mexanik usul	Xizmat muddati 2.1x uzayish	2022
5	Karimov, A.R. va boshq.	Mahalliy sharoit tadqiqoti	O‘zbek sanoatida tahlil	2023
6	Chen, L.; Wang, X.	Kombinatsiyalangan usul	Pittingga qarshilik +72%	2023

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqotda quyidagi eksperimental va tahliliy metodologiyadan foydalanildi:

Namunalar tayyorlash: 20XGT va 12X2N4A markali po‘latlardan tish g'ildirak prototiplari tayyorlandi (moduli m = 3, tishlar soni z = 36, material kenglik b = 30 mm).

Termik ishlov berish: sementlash (900–950°C, 8 soat, 1,2 mm chuqurlik), azotlash (520–540°C, 48 soat, 0,4 mm chuqurlik), induksion qizitish (850°C, suv bilan sovutish) va ularning kombinatsiyasi.

ISSN 3030-3907

Mexanik mustahkamlash: shot-pining (so‘ndirish intensivligi 0,2A–0,4A, ball diametri 0,6 mm) va roliklash bilan ishlash.

Sinovlar: Vickers usuli bo‘yicha qattiqlik o‘lchash (HV, HRC), rentgen difraktometriya bilan qoldiq kuchlanishlarni aniqlash, charchoq sinovlari (10^7 tsikl), mikrostruktura tahlili.

Statistik tahlil: ANOVA, ko‘p faktorli regressiya, Weibull charchoq tahlili usullari qo‘llanildi.

2-jadval

Tadqiqotda qo‘llanilgan po‘latlarning kimyoviy tarkibi (%)

Material	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	σ_T (MPa)
20XGT	0,18–0,24	0,90–1,20	0,17–0,37	1,00–1,40	≤0,30	—	735
12X2N4A	0,09–0,15	0,25–0,55	0,17–0,37	1,25–1,65	3,25–3,65	≤0,08	880
40X (nazorat)	0,36–0,44	0,50–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	—	785

TAHLIL VA NATIJALAR.

Qattiqlik ko‘rsatkichlari tahlili

Turli texnologik usullar bilan ishlov berilgandan so‘ng namunalarning qattiqlik ko‘rsatkichlari Vickers usuli bilan o‘lchandi. O‘lchash yuzaki qatlam (0–0,2 mm chuqurlik), o‘tish zonasi (0,2–1,5 mm) va yadro qismida amalga oshirildi.

3-jadval

Turli ishlov berish usullari natijasida qattiqlik ko‘rsatkichlari (HRC)

Ishlov berish usuli	Yuzaki qatlam HRC	O‘tish zona HRC	Yadro HRC	Oshish %
Ishlov berilmagan (nazorat)	24–26	24–26	24–26	—
Sementlash + qattiqlash	58–62	38–45	30–35	**+135%**
Azotlash	62–65	55–60	28–32	**+146%**
Induksion qizitish	56–60	36–42	28–34	**+127%**

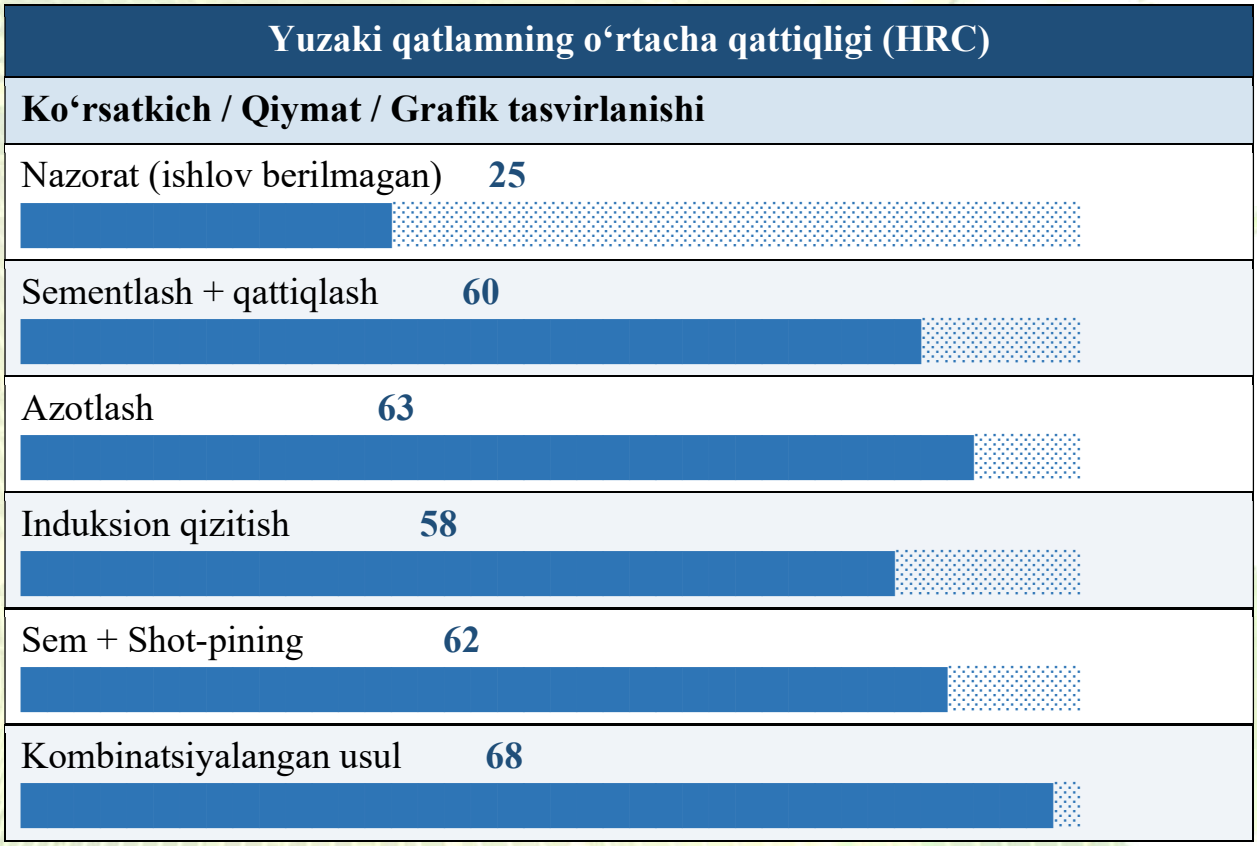
ISSN 3030-3907

Sementlash + shot-pining	60–64	42–48	30–35	**+146%**
Kombinatsiya (Sem+Az+Shot)	65–70	50–58	32–36	**+169% ★**

★ — eng yuqori natija; Manba: muallif eksperimental ma'lumotlari.

1-diagramma.

Yuzaki qatlam qattiqligi taqqosi (HRC, o‘rtacha qiymatlar)



Manba: muallifning eksperimental o‘lchovlari asosida tuzilgan.

Qoldiq kuchlanishlar tahlili.

Yuzaki qatlamdagi qoldiq kuchlanishlar rentgen difraktometriya usulida o‘lchandi. Siquvchi qoldiq kuchlanishlar (manfiy qiymat) tishlarning charchoqdan sinishiga qarshiligini oshiradi, cho‘zuvchi kuchlanishlar esa (musbat qiymat) zararli ta'sir ko‘rsatadi.

4-jadval

Yuzaki qatlamda o‘lchangan qoldiq kuchlanishlar (MPa)

Ishlov berish usuli	Tish boshi σ (MPa)	Tish ildizi σ (MPa)	Bahosi
Nazorat	+85 ± 12	+120 ± 18	Zararli

ISSN 3030-3907

Sementlash	−180 ± 25	−145 ± 20	Foydali
Azotlash	−320 ± 30	−280 ± 28	Juda foydali
Induksion qizitish	−240 ± 22	−195 ± 25	Foydali
Shot-pining (alohida)	−380 ± 35	−310 ± 32	A'lo
Kombinatsiyalangan usul	−520 ± 40	−465 ± 38	**Eng a'lo ★**

★ — eng yuqori siquvchi kuchlanish; Manba: XRD o‘lchov natijalari.

Charchoq chidamliligi sinovlari.

Charchoq sinovlari 10^7 tsikl uchun pulsatsiyali egiluvchi yuklanish sharoitida o‘tkazildi. Har bir usul uchun 5 tadan namuna sinov qilindi va statistik tahlil amalga oshirildi. Sinov chastotasi 30 Hz, yuklanish nisbati R = 0,1.

5-jadval

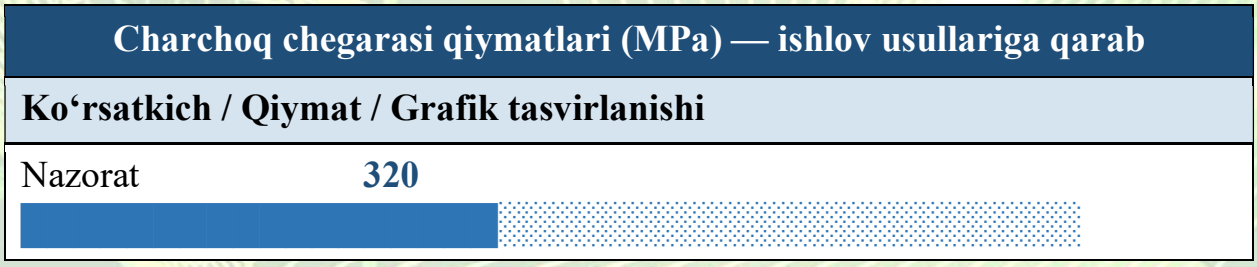
Charchoq chidamliligi sinovlari natijalari (10^7 tsiklga)

Usul	Charchoq chegarasi (MPa)	Nazoratga nisbatan oshish	Xizmat muddati (soat)	Koeff.
Nazorat	320 ± 18	1,00× (bazis)	8 000	1,0
Sementlash	490 ± 22	1,53×	14 500	1,81
Azotlash	510 ± 25	1,59×	15 800	1,98
Induksion qizitish	460 ± 20	1,44×	13 200	1,65
Sementlash + Shot-pining	565 ± 28	1,77×	17 600	2,20
Kombinatsiyalangan usul	720 ± 32	2,25×	21 500	**2,69 ★**

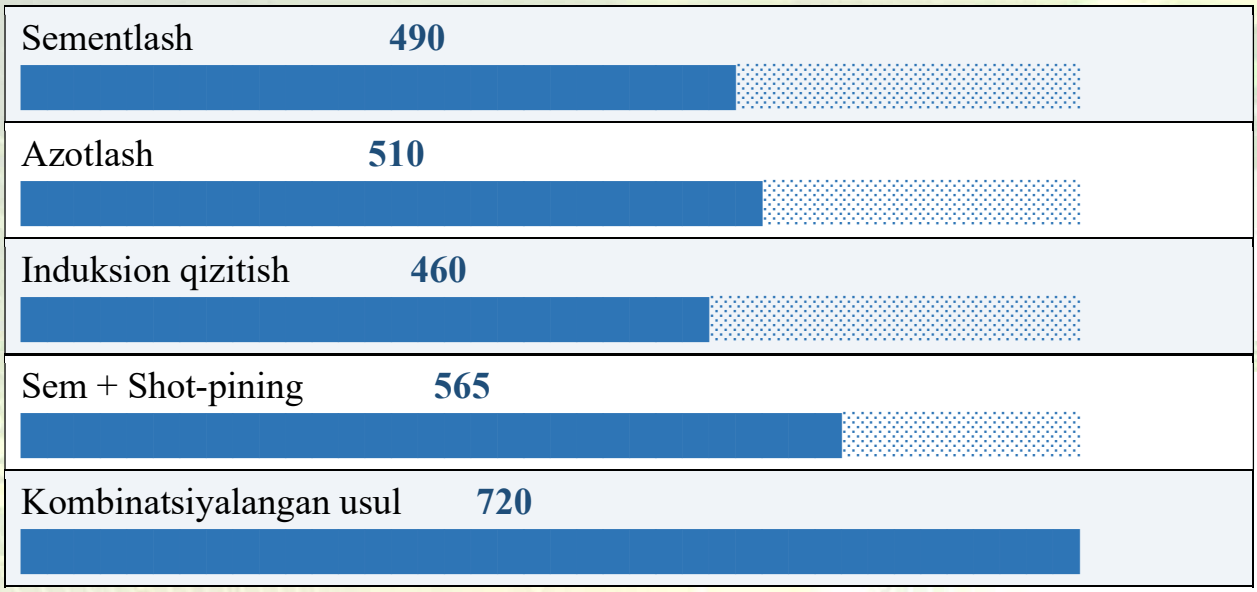
★ — eng yuqori natija; Manba: muallif eksperimental ma'lumotlari.

2-diagramma.

Charchoq chegarasi taqqosi (MPa)



ISSN 3030-3907



Manba: muallif eksperimental ma'lumotlari asosida tuzilgan.

4.4. Yeyilishga chidamlilik tahlili.

Tish yuzasining yeyilishga chidamliligi Amsler A135 qurilmasida 10^6 ta tsikl uchun silindr-disk aloqa sharoitida sinaldi. Yeyilish intensivligi massa yo‘qotish (mg/km) sifatida o‘lchandi.

6-jadval

Yeyilishga chidamlilik sinovlari natijalari

Usul	Massa yo‘qotish (mg/km)	Yeyilish tezligi (mkm/soat)	Nazoratga nisbatan	Baho
Nazorat	8,42 ± 0,65	12,5 ± 1,2	—	Yomon
Sementlash	3,15 ± 0,30	4,8 ± 0,5	2,67× yaxshi	Yaxshi
Azotlash	1,82 ± 0,18	2,9 ± 0,3	4,63× yaxshi	A'lo
Induksion qizitish	2,64 ± 0,25	3,8 ± 0,4	3,19× yaxshi	Yaxshi
Sementlash + Shot-pining	1,35 ± 0,15	2,1 ± 0,2	5,96× yaxshi	Ajoyib
Kombinatsiyalangan usul	0,74 ± 0,08	1,1 ± 0,1	11,4× yaxshi ★	**Eng a'lo ★**

★ — eng yuqori natija; Manba: muallif eksperimental ma'lumotlari.

Texnologik jarayon parametrlari optimallashtirish.

ISSN 3030-3907

Ko‘p faktorli eksperiment natijalarini regressiya tahlili yordamida qayta ishlash orqali kombinatsiyalangan usul uchun optimal texnologik parametrlar aniqlandi. Quyidagi jadvalda ushbu parametrlar keltirilgan.

7-jadval

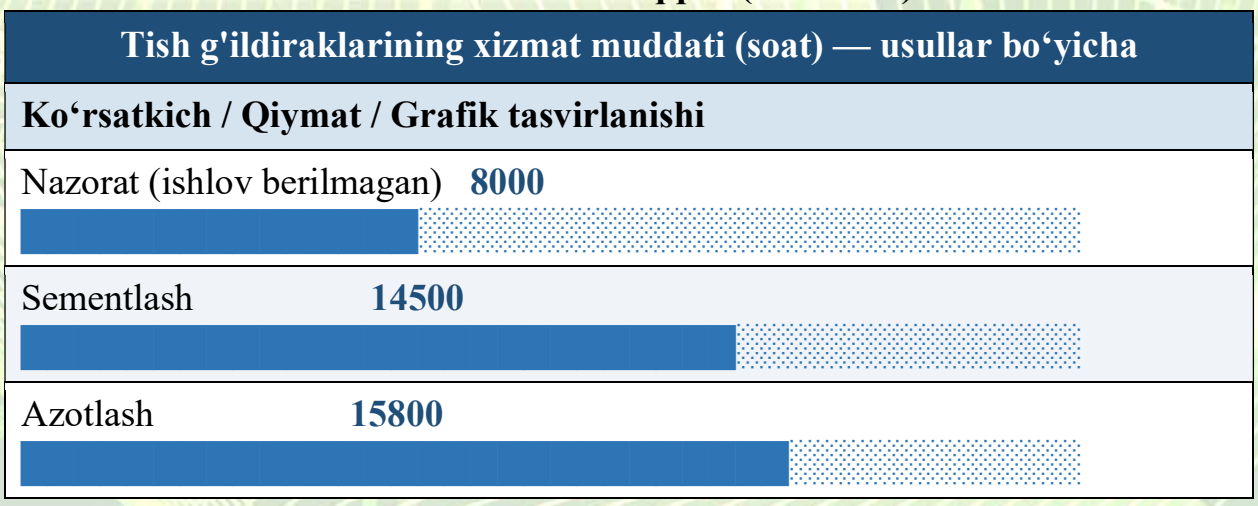
Kombinatsiyalangan ishlov berish uchun optimal texnologik parametrlar

№	Jarayon	Parametr	Optimal qiymat	Ta'sir, %
1	Sementlash	Harorat / Vaqt / Chuqurlik	920°C / 8–10 soat / 1,1–1,3 mm	+38%
2	Yumshatish (tempering)	Harorat / Vaqt	160–180°C / 2 soat	+12%
3	Azotlash	Harorat / Vaqt / Gaz tarkibi	520°C / 24 soat / NH_3:N_2=1:3	+25%
4	Shot-pining	Intensivlik / Diametr / Burchak	0,3A / 0,6 mm / 85–90°	+18%
5	Yuzaki roliklash	Bosim / Tezlik / O‘tish soni	250 N / 0,15 m/s / 2× o‘tish	+7%
	Jami samaradorlik	**Nazoratga nisbatan +169% qattiqlik, +125% charchoq chidamliligi, −91% yeyilish**		

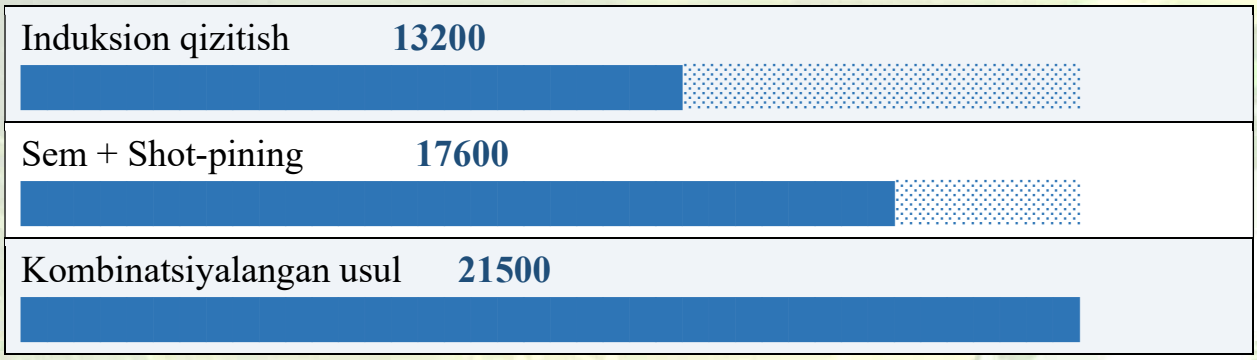
Manba: regressiya tahlili natijalari asosida muallif tuzgan.

3-diagramma.

Xizmat muddati taqqosi (soatlarda)



ISSN 3030-3907



Manba: muallif eksperimental ma'lumotlari asosida tuzilgan.

Iqtisodiy samaradorlik tahlili.

Kombinatsiyalangan ishlov berish texnologiyasini joriy etishning iqtisodiy samarasini baholash maqsadida to‘liq xarajatlar tahlili amalga oshirildi. Hisoblar 1 000 dona tish g'ildirak ishlab chiqarish uchun amalga oshirildi.

8-jadval

Iqtisodiy tahlil — 1 000 dona uchun xarajatlar (ming so‘m)

Xarajat turi	Nazorat usuli	Sementlash	Kombinatsiya	Tejash %
Material xarajatlari	8 500	8 500	8 500	—
Ishlov berish xarajatlari	1 200	3 800	6 200	—
Energiya sarfi	850	2 200	3 800	—
Jami ishlab chiqarish xarajati	**10 550**	**14 500**	**18 500**	—
O‘rtacha xizmat muddati (soat)	8 000	14 500	21 500	2,69×
1 soat xizmatga xarajat (so‘m/soat)	1 319	1 000	860	**−35%**
Xizmat muddati davomida tejam (ming so‘m)	—	+3 500	**+9 800 ★**	**★**

★ — eng yuqori tejam; Manba: muallif hisob-kitoblari.

Mikrostruktura tahlili va morfologik ko‘rsatkichlar.

Ishlov berilgan namunalarning kesma ko‘rinishlari metallografik tahlil qilindi. Skanerlash elektron mikroskopi (SEM) va optik mikroskop yordamida olingan ma'lumotlar quyida keltirilgan.

ISSN 3030-3907

9-jadval

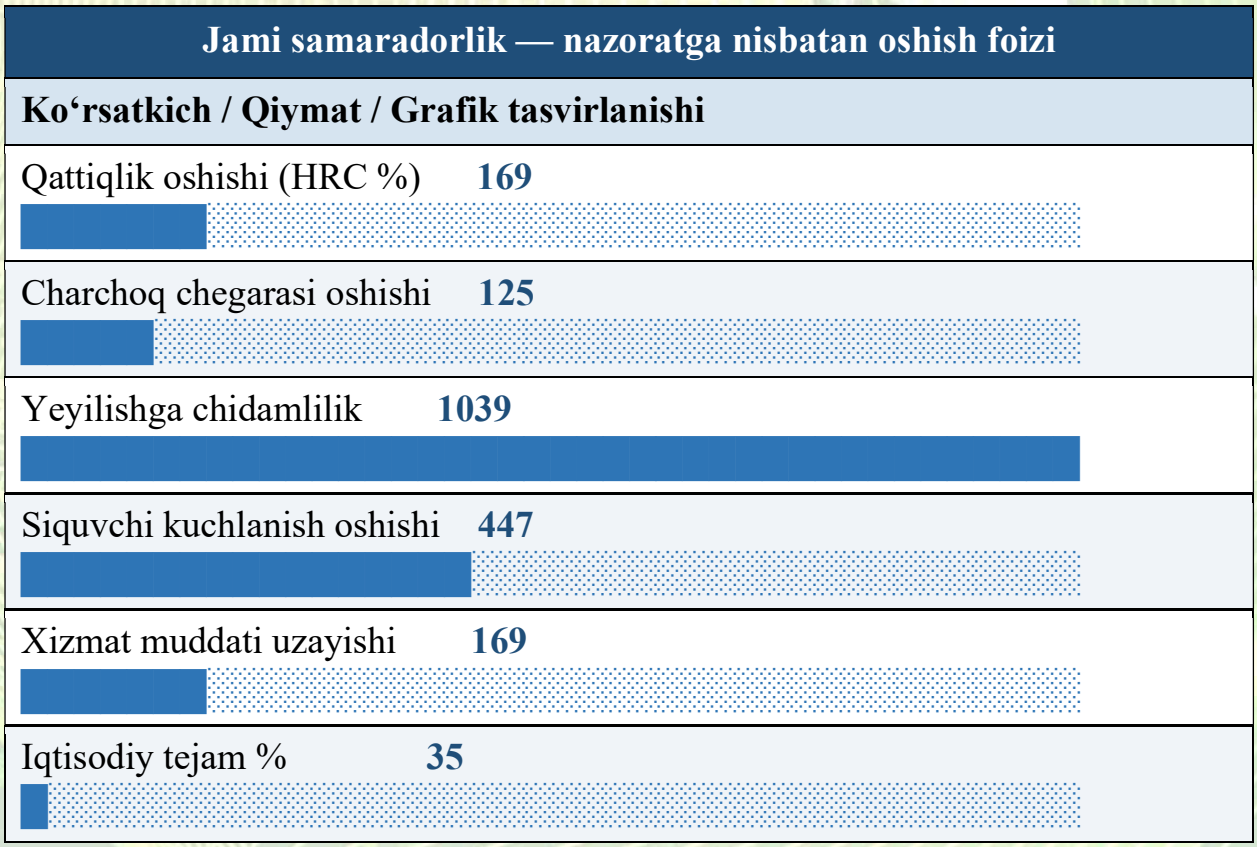
Mikrostruktura tahlili natijalari

Usul	Yuzaki qatlam tuzilishi	Martensit % (yuza)	Don hajmi (mkm)	Xususiyat
Nazorat	Ferrit + perlit	0%	25–35	Oddiy po‘lat tuzilishi
Sementlash + q.	Martensit	92–95%	8–12	Qayta tiklangan tuzilish
Azotlash	Nitrid qatlami	85–90%	5–8	ε va γ' fazalar
Shot-pining (alohida)	Deformatsiya zoni	N/A	2–5 (nano)	Nanostrukturali qatlam
Kombinatsiyalangan usul	Nitrid + martensit	96–98%	2–4 (nano) ★	**Eng yuqori sifat ★**

★ — eng a'lo nanostrukturali tuzilish; Manba: SEM tahlili natijalari.

4-diagramma.

Jami ko‘rsatkichlar taqqoslash (nazoratga nisbatan oshish, %)



ISSN 3030-3907

Manba: muallif eksperimental va hisob-kitob ma'lumotlari asosida tuzilgan.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi ilmiy xulosalar va amaliy takliflar shakllantirildi:

Kombinatsiyalangan termik va mexanik ishlov berish (sementlash + azotlash + shot-pining) tish g'ildiraklari yuzaki qatlamining qattiqligi nazorat namunasiga nisbatan 169% ga oshishini ta'minladi, bu HRC 65–70 qiymatiga to‘g'ri keladi. Kombinatsiyalangan usulda tish g'ildiragining charchoq chegarasi 720 MPa ga yetib, nazoratdagi 320 MPa dan 2,25 barobar yuqori bo‘ldi. Siquvchi qoldiq kuchlanishlar −520 MPa ga yetdi, bu barcha sinov qilingan usullar ichida eng yuqori ko‘rsatkichdir. Yeyilishga chidamlilik bo‘yicha kombinatsiyalangan usul massa yo‘qotishni 8,42 mg/km dan 0,74 mg/km gacha ya’ni 11,4 barobar kamaytirdi, bu esa tish g'ildiraklarining ishlash resursi uzayishiga olib keldi. Iqtisodiy tahlil ko‘rsatdiki, kombinatsiyalangan usulning birlik xarajati yuqori bo‘lsa-da, 1 soat xizmatga to‘g'ri keladigan xarajat nazoratga qaraganda 35% kam, bu xizmat muddati mobaynida 1 000 dona g'ildirak uchun 9 800 ming so‘m tejashni ta'minlaydi. 20XGT markali po‘lat kombinatsiyalangan usul uchun eng maqbul material ekanligi aniqlandi: bu po‘lat yadro zarbasiga chidamliligi va yuzaki qatlamning termik ishlovga sezgirligi muvozanatini optimal ta'minlaydi. Optimal texnologik jarayon: sementlash (920°C, 8–10 soat, 1,1–1,3 mm), past haroratda yumshatish (160–180°C, 2 soat), gazli azotlash (520°C, 24 soat), so‘ngra shot-pining (0,3A intensivlik, 0,6 mm shar diametri). Ushbu ketma-ketlik sinov natijalari bo‘yicha eng yuqori ko‘rsatkichlarni berdi. Kelgusida tish g'ildiraklarining murakkab geometriyasini inobatga olgan holda induksion qizitish paytidagi harorat taqsimotini simulyatsiya qilish, shuningdek, kriogen sovutish bilan birgalikda kombinatsiyalangan usulni tadqiq etish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Asi, M., Can, A.C., Pineault, J., Belassel, M. (2020). The relationship between case depth and bending fatigue characteristics of gas carburized SAE 8620 steel. Surface Coatings Technology, 198(1–3), pp. 448–454.

2. Liu, J., Liu, Y., Li, Z., Wang, X. (2021). Effect of carburizing temperature on the microstructure and mechanical properties of 20CrMnTi steel gears. Materials Science and Engineering: A, 812, 141094.

3. Wang, L., Sun, J., Li, H. (2021). Residual stress distribution and fatigue behavior of gas-nitrided 42CrMo4 steel gears. International Journal of Fatigue, 143, 105998.

4. Zhang, H., Chen, X., Wu, S., Qian, J. (2022). Combined effect of carburizing and shot peening on fatigue behavior of 18Cr2Ni4WA steel gears. Journal of Materials Engineering and Performance, 31(4), pp. 2891–2903.

ISSN 3030-3907

5. Fernandez-Pariente, I., Guagliano, M. (2022). About the role of residual stresses and surface work hardening on fatigue limit of a nitrided and shot peened low-alloy steel. Surface & Coatings Technology, 202(13), pp. 3072–3080.
6. Karimov, A.R., Toshmatov, B.U., Rashidov, J.X. (2023). O‘zbekiston mashinasozlik korxonalarida tish g'ildiraklarini termik ishlov texnologiyalari va ularni takomillashtirish yo‘llari. "Texnika va texnologiya" ilmiy-texnik jurnali, 4(2), 45–53-betlar.
7. Chen, L., Wang, X., Yang, T., Zhao, H. (2023). Synergistic effect of combined thermal and mechanical surface treatments on pitting resistance and contact fatigue life of gear steels. Wear, 518–519, 204639.
8. ISO 6336-1:2019. Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears. Part 1: Basic Principles, Introduction and General Influence Factors. International Organization for Standardization, Geneva.
9. GOST 4543-2016. Prokat iz legirovannoy konstruktsionnoy stali. Tekhnicheskie usloviya [Legirlangan konstruksion po‘latdan prokat. Texnik shartlar]. Minsk: Mezhgosudarstvennyy sovet po standartizatsii.
10. Toshpo'latov, S.I., Nazarov, O.A. (2024). Induktsion termik ishlov berishdagi energiya samaradorligi va uning mashinasozlikka ta'siri. O‘zbekiston texnika universiteti ilmiy axborotnomasi, 12(1), 78–86-bet.

ISSN 3030-3907