

**TOLALI EKINLAR ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc30/30.11.2021.T.141.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOLALI EKINLAR ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

**YUSUPOV A'LO ANVAROVICH**

**PAXTA TOZALASH MASHINALARI KOLOSNIKLARINI SHARIK (DROB)  
OQIMLI ISHLOV BERISH JARAYONIDA MEXANIK MUSTAHKAMLASH  
ORQALI ISH QOBILIYATINI OSHIRISH**

**05.02.03 – “Texnologik mashinalar. Robotlar, mexatronika va robototexnik tizimlar”**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent - 2025**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati  
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
technical sciences**

**Yusupov A‘lo Anvarovich**

Пахта тоzalash mashinalari kolosniklarini sharik (drob) oqimli ishlov berish jarayonida mexanik mustahkamlash orqali ish qobiliyatini oshirish..... 3

**Юсупов А‘ло Анварович**

Повышение работоспособности хлопкоперерабатывающих машин механическим упрочнением колосников в процессе дробеструйной обработки..... 23

**Yusupov A‘lo Anvarovich**

Increasing the operational efficiency of cotton processing machines by mechanical hardening of grate bars during shot blasting..... 45

**E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works..... 48

**TOLALI EKINLAR ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc30/30.11.2021.T.141.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOLALI EKINLAR ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI**

**YUSUPOV A'LO ANVAROVICH**

**PAXTA TOZALASH MASHINALARI KOLOSNIKLARINI SHARIK (DROB)  
OQIMLI ISHLOV BERISH JARAYONIDA MEXANIK MUSTAHKAMLASH  
ORQALI ISH QOBILIYATINI OSHIRISH**

**05.02.03 – “Texnologik mashinalar. Robotlar, mexatronika va robototexnik tizimlar”**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent - 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.PhD/T2665 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya "Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti" davlat muassasasida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti huzuridagi Ilmiy kengash veb-sahifasida <http://paxtasanoatilm.uz/> va "ZiyoNet" Axborot-ta'lim portalida ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Mo'minov Mansurbek Rahimovich**

texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim

**Rasmiy opponentlar:**

**Rosulov Ro'zimurod Xasanovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Ibragimov Farxod Xayrulloevich**

texnika fanlari doktori, dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**Jizzax politexnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti huzuridagi DSc.30/30.11.2021.T.141.01 raqamli ilmiy kengashning 2025-yil 27 avgust soat 12<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 111202, Toshkent viloyati, Qibray tumani, Botanika MFY O'zPITI ko'chasi, PSUYAITI. Tel.: (+99871) 207-04-03; faks: (+99871) 256-04-21; e-mail: info@paxtasanoatilm.uz (Paxta seleksiyasi, urug'chiligi va etishtirish agrotexnologiyalari ilmiy tadqiqot instituti binosi, 1-qavat, majlislar zali).

Dissertatsiya ishi bilan Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (ro'yhatdan o'tgan 45-son). 111202, Toshkent viloyati, Qibray tumani, Botanika MFY O'zPITI ko'chasi, PSUYAITI. Tel.: (+99871) 207-04-03.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "18" avgust kuni tarqatildi.  
(2025 yil "18" avgust 45-raqamli reestr bayonnomasi).



**T.M.Quliyev**

Ilmiy daraja beruvchi  
ilmiy kengash raisi, t.f.d., prof.

**R.K.Djamolov**

Ilmiy daraja beruvchi ilmiy  
kengash ilmiy kotibi, t.f.d., prof.

**R.Sh.Sulaymanov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash huzuridagi  
ilmiy seminar raisi, t.f.d., prof.

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahon to‘qimachilik sanoatida tolali materiallar ishlab chiqarish bo‘yicha paxta tolasining ulushi 55-60%ni tashkil qiladi. Dunyo miqyosida aholi sonining jadal o‘shishi natijasida tabiiy mahsulotlarga, ayniqsa paxta tolasidan tayyorlangan to‘qimachilik va yengil sanoat mahsulotlariga bo‘lgan talab uzluksiz ortib bormoqda va ish jarayonini sifatli amalga oshiradigan mashinalarni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Dunyo miqyosida paxta bo‘yicha xalqaro konsultativ qo‘mita (ICAC)ning ma‘lumotlariga ko‘ra “... jahon miqyosida har yili 23-24 mln tonna paxta tolasini ishlab chiqarilmoqda, uning istemoli esa 24-25 mln tonnani tashkil etishini”<sup>1</sup> hisobga olsak, to‘qimachilik va yengil sanoat mahsulotlarining yuqori ishlab chiqarish va sifatini ta‘minlash maqsadida paxta tozalash korxonalarida yangi uskunalar va texnologiyalarni joriy etish, paxta tozalash uskunalari takomillashtirish va sanoatda resurstejamkor ilg‘or texnologiyalarni qo‘llash va modernizatsiya hamda rekonstruksiyaning amalga oshirish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahon tajribasida paxtani birlamchi qayta ishlash texnikasi va texnologiyalarini takomillashtirish bo‘yicha kompleks va keng miqyosli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu yo‘nalishda tolani ajratish jin va linter mashinalari ishchi organlarining detallarini, xususan, ishchi kamera kolosnikli panjaralarining pardoqlash-mustahkamlash ishlov berishning yangi va progressiv usullarini ishlab chiqish ustuvor ahamiyatga ega. Ushbu chora-tadbirlar ularning chidamliligini oshirish va ishqalanishga bardoshlilikini oshirish orqali texnologik tirqishning uzoq vaqt davomida saqlanishini ta‘minlashga alohida e‘tibor berilmoqda.

Respublikamizda paxta-to‘qimachilik klasterlarini rivojlantirish, ishlab chiqarish va paxtani qayta ishlash samaradorligini oshirish, ishlab chiqarilayotgan mahsulotning raqobatbardoshligini ta‘minlash va ishlab chiqarishga mazkur sohaga oid zamonaviy fan va texnika yutuqlarini joriy etish bo‘yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “...milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligini oshirish, iqtisodiyotda energiya va resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish”<sup>2</sup> bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda paxtani dastlabki ishlash uskunalari va texnologiyalarini takomillashtirish, paxta qayta ishlash mashinalari ishchi organlari detallarini sirtini plastik deformatsiyalash orqali pardoqlash-mustahkamlash, ularning ekspluatatsion sharoitlarda yuqori ish qobiliyatini ta‘minlash masalalari muhim hisoblanadi.

Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “2022 – 2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli Farmoni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 7-iyuldagi PQ-308-son “Paxta hosildorligini oshirish, paxta yetishtirishda

<sup>1</sup> International cotton advisory committee. Washington, From the Secretariat of the ICAC. <https://icac.org/emailsecretariat@icac.org>. September 1, 2019

<sup>2</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi 2022-2026-yillardagi mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-sonli Farmoni.

ilm va innovatsiyalarni joriy qilishning qo‘shimcha tashkiliy chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori, Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 11-yanvardagi 11-son “Paxtasanoat ilmiy markazi” aksiyadorlik jamiyati faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. “Energetika, energiya va resurstejamkorlik” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

**Muammoning o‘rganganlik darajasi.** Zamonaviy mashinasozlik ishlab chiqarishida progressiv mexanik ishlov berish usullari va rejimlarini, shu jumladan pardoqlash-mustahkamlashni asoslash, texnologik mashinalarning ishchi organlari muhim qismlarining sirt qatlami sifatini ta‘minlash orqali ularga yuqori ekspluatatsion xususiyatlarni – ishqalanishga bardoshlilik, ekspluatatsiya – yemiruvchanlik va ishlash vaqtini oshirish masalalari dolzarb bo‘lib qolmoqda. Ushbu ilmiy yo‘nalish I.J.Armarego, J.Martin, H.Opitz, E.M.Trent, V.F.Bezyazychniy, B.A.Kravchenko, I.V.Kudryavtsev, Yu.G.Kabaldin, A.D.Makarov, A.A.Matalin, D.D.Papshev, S.V.Serensen, V.K.Starkov, A.M.Sulima, A.G.Suslov, M.A.Tamarkin, G.Fuchs, S.G.Xeyfets va boshqa xorijiy olim va mutaxassislarning ishlarida o‘z aksini topgan.

Paxta qayta ishlash mashinalari ishchi organlari detallarini mustahkamlash usullari bilan yakuniy ishlov berishda zaruriy kerakli mustahkamlik va ekspluatatsiya xususiyatlarini ta‘minlashga qodir. Mazkur ilmiy yo‘nalishni takomillashtirish va rivojlantirishda akademik R.G.Maxkamov, M.G.Xamov, A.P.Rogov, A.M.Axmedov, I.G.Shin, V.V.Shiryayev, M.R.Mo‘minov, Z.A.Shodmonqulov va boshqalar o‘zining ulkan hissalarini qo‘shgan.

Biroq, paxta qayta ishlash mashinalarining ishonchliligi va ishlash qobiliyatini texnologik jihatdan yuza qatlami sifatini ta‘minlash orqali oshirishda erishilgan yutuqlarga qaramay, hozirgi vaqtda ishchi kameraning kolosnikli panjarasini sifatli tayyorlash muammoli masalalarini hal etishga yetarlicha e‘tibor berilmagan. Kolosnikli panjaraning holati diskli arralarning ishlash samaradorligiga bevosita ta‘sir qiladi, chunki ular ishchi kameradagi kolosnikli panjaralar orasidagi tirqishlardan o‘tib, diskli arralarning tishlari bilan chigitdan tolani erkin holatda ajratishini ta‘minlaydi.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti “Paxtasanoat ilmiy markazi” AJning ALM-20230622233-sonli "Zamonaviy paxta tozalash korxonalari uchun innovasion avtomatlashtirilgan resurstejamkor mahalliy texnika va texnologiyalar kompleksini yaratish" (2024-2025) mavzusidagi amaliy loyiha bo‘yicha ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq bajarilgan.

**Tadqiqot maqsadi** mikrosharchalar bilan ishlov berish jarayonida dinamik sirt qattiqligi oshirish hisobiga tola ajratuvchi mashinalar kolosniklarini ishlash qobiliyatini oshirish va ishchi yuzasi sifatini texnologik ta‘minlashdan iborat.

### **Tadqiqotning vazifalari:**

sirt-plastik deformatsiyasining texnologik imkoniyatlarini asoslash va aniqlashning eng samarali usullaridan biri - tola ajratish mashinalarining ishchi kamerasidagi kamplastikli konstruksion materialdan tayyorlangan kulrang cho‘yan (ferrit va ferrit–perlit) kolosniklarini mikrosharchalar bilan zarbalash orqali mustahkamlash;

quyma cho‘yan qismlarining sirt qatlamining kuchlanish-deformatsiyalanish holatini va issiqlik shakllanishi tadqiqini amaliy bajarish, hosil bo‘ladigan yuklanish umumlashgan kuch shaklini tahliliy o‘rganishni amalga oshirish;

zarbali ishlov berish paytida deformatsion qattiqlashish chuqurligi va qayta ishlangan materialning Meyer bo‘yicha dinamik qattiqligi, fraksiyaning ta’sir chastotasi va normal ezilish kuchi o‘rtasidagi munosabatni o‘rnatish;

ishlov berilgan sirtning – qattiqligi, g‘adir-budurligi, deformatsiyalanish darajasi kabi sifat ko‘rsatkichlari yordamida sharcha bilan puxtalangan kolosnik sirt qatlamining fizik-mexanik holatini tajribaviy o‘rganish;

tola ajratish mashinalarining cho‘yan kolosnikli panjaralariga mikrosharchalar bilan ishlov berish orqali yuza qattiqligining samaradorligini isbotlash, tajriba-sanoat sinovlarni o‘tkazish va jin va linterlar uchun mikrosharchalar bilan ishlov berilgandan so‘ng qattiqligi yuqori bo‘lgan kolosniklarni ishlab chiqarishga joriy etish.

**Tadqiqotning ob’ekti** tola ajratish mashinalarining ishchi kamerasining cho‘yan kolosniklari hisoblanadi.

**Tadqiqotning predmeti** sifatida mikrosharchalarning metall yuzasiga urilganda kontaktlarning o‘zaro ta’sirining mexanika va termofizikasi, dinamik ta’sir paytida kuchlanish-deformatsiyalanish holati va mikrosharchalar zarbidan mustahkamlanganda sirt qatlamining sifat parametrlari olingan.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida nazariy va amaliy mexanika usullari, elastiklik va plastiklik nazariyasi, qattiq jismlarning mustahkamligi va mo‘rtligi gipotezalari va eksperimental mexanika usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

mashinasozlik amaliyotida birinchi marta temir-uglerodli qotishmalarning tarkibiy qismlarining qattiqlashish qobiliyatini asoslashga tayangan holda, cho‘yan detallarni mexanik sirt qattiqligini oshirish usuli ishlab chiqilgan.

materiallarning Meyer bo‘yicha dinamik qattiqligi va Brinellyu bo‘yicha esa statik qattiqligining o‘zaro aloqasini hisobga oladigan mikrosharchalar bilan ishlov berishdagi qattiqlashish chuqurligini aniqlash uchun analitik bog‘liqlik ishlab chiqilgan;

kam plastikli kulrang cho‘yanni mikrosharchalar bilan zarba berish orqali dinamik mustahkamlashda hosil bo‘ladigan kuchlanish holatini hisoblash modeli ishlab chiqildi;

mustahkamlangan jin va linter kolosniklarining chiziqli yeyilishi mustahkamlanmaganlarga nisbatan mos ravishda 1,7 va 2,2 baravar kam bo‘lgan, bu esa kolosniklar orasidagi tirqishlarning ruxsat etilgan chegarasidan ancha kichikligi aniqlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

nazariy-eksperimental tadqiqotlar kompleksi natijasida tola ajratuvchi mashinalarning (jin va linter) elastikligi past bo'lgan cho'yan kolosniklarining ishchi yuzasiga qisilgan havo oqimida va sanoatda seriyali ishlab chiqarilayotgan qum sepuvchi apparatlarda, shuningdek yordamchi sexlardagi zavodda tayyorlangan dastgohlarda mikrosharchalar bilan ishlov berishning samaradorligi isbotlangan;

ishlov berilayotgan materialning qattiqligi HB180 va zarb tezligi  $v=20...40$  m/s, mikrosharchalar diametri  $D=0,3...0,4$  mm bo'lganda yuza deformatsiyasining yetarli darajasi  $\Psi=0,231...0,33$  bo'lishini ta'minlovchi mikrosharchalar bilan ishlov berishning tartib va tavsiyalari ishlab chiqilgan;

ishlov berilmagan oddiy kolosniklarga nisbatan yemirilish darajasi 1,7 baravar kam bo'lishi ta'minlanib kolosniklararo oraliqning texnologik ko'rsatkichi uzoq vaqt saqlanib qolishiga erishildiki, bu narsa jinlash va linterlash jarayonlarida tolaning sifatli ajralishiga xizmat qilishi aniqlangan;

kolosniklar sirtini mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish orqali mexanik qattiqlashtirish detallarning yuza qatlamining qattiqligini oshirishni ta'minlaydi va termik ishlov berishsiz va ortiqcha xarajatlarsiz detallarning chidamliligini oshirilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqotlar mikrosharchalar bilan mustahkamlash orqali ishlov berishda metall yuzasiga urilayotgan mikrosharchalarning o'zaro kontakt ta'sirini yoritish uchun fizik va matematik modellarning asoslangan tanlovi, nazariy va eksperimental tadqiqotlarning natijalarining bir-biriga mos kelishi, tajriba-sanoat sinovlarining ijobiy natijalari jin va linter ishchi kameralari kolosniklariga mikrosharchalar bilan ishlov berish jarayonida sirti qattiqlashtirilgandan keyin ishlab chiqarishga joriy etilishi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Dissertatsiya natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, tola ajratuvchi mashinalarning ishchi kamerasi kolosniklarini tayyorlashda qo'llaniladigan plastikligi past bo'lgan konstruksion material – SCh-15 markali kulrang cho'yan yuzasini mexanik qattiqlashtirish imkoniyati ko'rsatib berildi.

Bajarilgan tadqiqotning amaliy ahamiyati cho'yan kolosniklarning ishchi yuzasiga mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish natijasida kolosniklarning ishlash davri va buning natijasida ularning texnologik oraliqlarining uzoq vaqt saqlanib turishida ifodalangan samaradorlik asoslangan va o'z isbotini topganligidan iborat.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Jin va linterlar uchun kolosniklarga mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish bo'yicha tadqiqot ishini bajarishdan olingan ilmiy natijalar asosida:

ishchi yuzasi qattiqlashtirilgan cho'yan kolosniklar "Real Agro Cotton" UK ning Toshkent viloyati Yuqorichirchiq filialining jin-linter sexida tadqiqot etilgan ("O'zto'qimachilik sanoat" uyushmasining 2024-yil 21-maydagi 03/25-1078 sonli ma'lumotnomasi). Natijada tola ajratuvchi mashinalarning yuza qatlamiga mikrosharchalar bilan ishlov berilgan cho'yan kolosniklarning chidamliligi oshganligi hisobiga jin va linterlarda foydalanish ishonchliligi mos ravishda 1,7 va

2,2 baravarga oshirilgan va plastiklik xususiyati past bo'lgan konstruksion materialni mexanik qattiqlashtirish imkoni isbotlangan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 17 ta ilmiy-texnik anjumanlarda, shu jumladan 13 ta xalqaro va 4 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiyalarida muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Tadqiqot natijalari bo'yicha jami 5 ta ilmiy ishlar chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy ishlarini chop etishga tavsiya qilingan ilmiy nashrlarda 3 ta xorijiy va 2 ta respublika maqolalari chop etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 122 betni tashkil qiladi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida ishning dolzarbligi va bajarilgan tadqiqotning zaruriyati, tadqiqotning maqsadi yoritilgan va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot ob'yekti va predmeti aniqlangan, respublikaning fan va texnologiyasini rivojlantirishning prioritet yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, ilmiy yangilik elementlari keltirilgan, tadqiqot natijalarini ishlab chiqarishga tadbiiq etilishi, aprobatsiya va nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiya tarkibi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

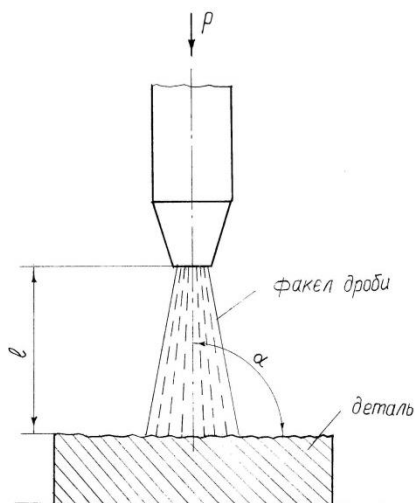
Dissertatsiyaning birinchi bobi "**Tola ajratuvchi mashinalar ishchi organlari detallarining ishlashini oshirishning texnologik usullarining tahlili**" da tola ajratuvchi mashinalar kolosniklariga bo'lgan texnologik talab va ularning ishlash kriteriyalari ko'rib chiqilgan. Cho'yan detallarning mikrotarkibiga bog'liq ravishda texnologik qattiqlashtirish bo'yicha adabiyotlar sharxi natijalari keltirilgan. Qisilgan havo oqimida mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish orqali plastikligi past bo'lgan cho'yan kolosniklar sirtini qattiqlashtirishning mexanik usuli ilmiy asoslandi. Uskunalarining ishlash muddati va foydalanish ishochliligini oshirish maqsadida texnologik mashinalar ishchi organlarining asosiy qismlarining sirt qatlamiga mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berishda detallarning fizik-mexanik va sirt qatlamining sifat ko'rsatkichlari tavsiflovchi parametrlar ko'rib chiqildi.

Dissertatsiyaning ikkinchi bobi "**Cho'yan kolosniklarni mikrosharchalar bilan dinamik sirt-plastik deformatsiyalashda o'zaro kontakt ta'siri mexanikasi**" tola ajratish mashinalari kolosniklarining ishchi yuzalarining mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish paytida kuchlanish-deformatsiyalanish holatini tahliliiy o'rganishga bag'ishlangan.

Mashinaning muhim qismlarining ishchi yuzalarini deformatsiya qilish uchun amalga oshirilgan zarbali ishlov berish  $D=0,3-0,4$  mm diametrli mikrosharchalarning turli xil urilish burchaklari bilan ishlov berilgan sirtga ko'p va bir vaqtning o'zida ta'siri bilan tavsiflanadi (1-rasm).

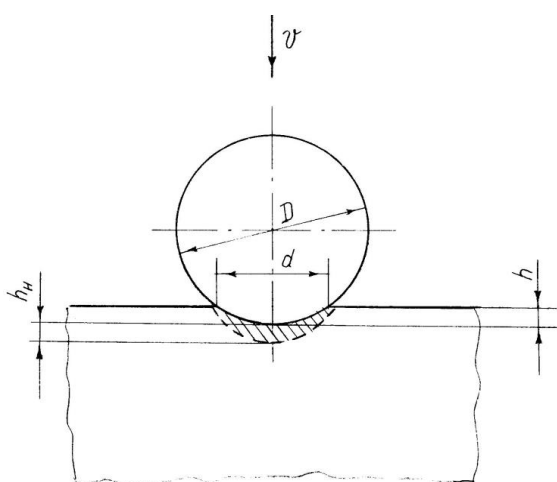
Deformatsiya jarayonining intensivligi turli xil ko'plab omillarga va birinchi navbatda, qayta ishlangan material va ishchi qismning fizik-mexanik xususiyatlariga, qismning kattaligi (massasi) va zarba tezligiga, urilish burchagiga, oqimning konsentratsiyasi va ishlov berish vaqtiga bog'liq.

Har bir fraksiya (mikrosharchalar) elastoplastik deformatsiyani bajarganligi sababli, ishchi organlarning konsentrlashgan oqimi bog‘lanish o‘zaro ta‘sirining polideformasion xarakterini yaratadi va shu bilan uning tahlilini murakkablashtiradi. Shuning uchun quyidagilarga asoslanib, zarba orqali mustahkamlikni ortishini shakllantirish kerak:



**1-rasm. Detalgacha  $l$  masofadan  $\alpha$  hujum burchagi ostida siqilgan  $p$  havo bosimi ostida yo‘naltirilgan mikrosharchalar oqimi bilan metall yuzalarga ishlov berish chizmasi**

Gers bog‘liqligidan (1) foydalanib, “po‘lat-po‘lat” va “po‘lat-cho‘yan” materiallarning elastik xususiyatlarini qiyosiy miqdoriy baholash fizik konstantalar – elastiklik moduli  $E_e$  va ko‘ndalang deformatsiya koeffitsiyenti  $\mu$  bo‘yicha berilgan. (Puasson koeffitsiyenti), ularni keltirilgan elastiklik moduli orqali bilan ifodalaydi



**2-rasm.  $D$  diametrlilik mikrosharchalar  $v$  tezlikda metall yuzasiga urilgandagi elastoplastik o‘zaro ta‘sirining chizmasi:  $d$  va  $h$  – mos ravishda plastik izning diametri va chuqurligi;  $h_H$  – hosil bo‘lgan izning chuqurligi**

1. Mikrosharchalarning konsentrlangan oqimidan birini tanlaymiz va mustahkamlangan qism yuzasiga to‘g‘ri burchak ostida ( $\delta=90^0$ ) o‘rtacha oqim tezligida uriladi deb hisoblamiz.

2. Kuch bilan ta‘sir qilish vaqtida deformatsiya jarayoni g‘adir-budurligi past, yuqori geometrik aniqlik va qattiqligi HRC62 sharsimon zarrachaning (fraksiyaning) bir bosqichli to‘qnashuvi bilan modellashtirilgan.

3. Qayta ishlangan material bir hil va izotrop deb taxmin qilinadi va deformatsiyalanadigan jism elastik yarim bo‘shliq (tekis sirt) bilan ifodalanadi, bu elastiklik va plastika nazariyasining asosiy tamoyillarini qo‘llash imkonini beradi. So‘nggi taxmin plastik iz (teshik) hajmi jism hajmidan sezilarli darajada kichik ( $d \ll D$ ) (2-rasm).

$$P = \frac{d^3}{3D \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_0^2}{E_0} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_{np}} = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_0^2}{E_0}$$

bu yerda,  $E_1$ ,  $\mu_1$  va  $E_0$ ,  $\mu_0$  – mos ravishda elastiklik moduli va indentor va bo‘lak materiallarning Puasson koeffitsiyenti;  $D$  – sharcha diametri, mm.

Hisob-kiotoblar bo‘yicha “po‘lat-cho‘yan” juftligi uchun eloastiklik moduli  $E_{np}=0,87898 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup>. “Po‘lat - po‘lat” juftligi uchun  $E_{np}=1,0994 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup>. Shunday qilib, birinchi juftlik uchun keltirilgan  $E_{np}$  elastiklik moduli  $E_{np}$  dan 0,8 ni elastiklik modulitashkil qiladi, ya‘ni  $E_{np}: E_{np}=0,8$ . Demak,  $D$  sharchaning o‘zgarimas

ko'rsatkichida bir xil  $d$  diametrli elastik iz shakllantirish uchun cho'yan materialning kontakt zonasidagi  $P_1$  kuch past bo'ladi va po'lat materialni ezishda  $0,8P_2$  kuch past bo'ladi va po'lat materialni ezishdani tashkil qiladi. Cho'yanning po'latga nisbatan elastiklik xususiyatlarining bunday kamayishi uning plastik xususiyatlariga ham ta'sir ko'rsatadi, qaysiki cho'yan tarkibidagi grafit – past mexanik zichlikka ega mikrouchastkalarining mavjudligiga bog'liq.

Mikrosharchalar bilan zarba berish orqali ishlov berishda deformatsiyalanish o'chog'ining asosiy parametrlari o'rganildi. M.M.Saverinning taniqli formulasi natijasida  $\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasini hisoblash uchun kontaktga kirishuvchi jismlarning mexanik xususiyatlarini hisobga olgandek ishlov berish tartibini ham inobatga oluvchi (3) tenglik olindi:

$$\psi = 1,14 \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot v^2}{g \cdot HB}} \quad (2)$$

Bu yerda,  $\rho$ - zarra materialining zichligi, po'lat uchun  $\rho=7,85 \text{ g/sm}^3$ ;

$g$  – og'irlik kuchining tezlashishi,  $9,81 \text{ m/s}^2$  ga teng;

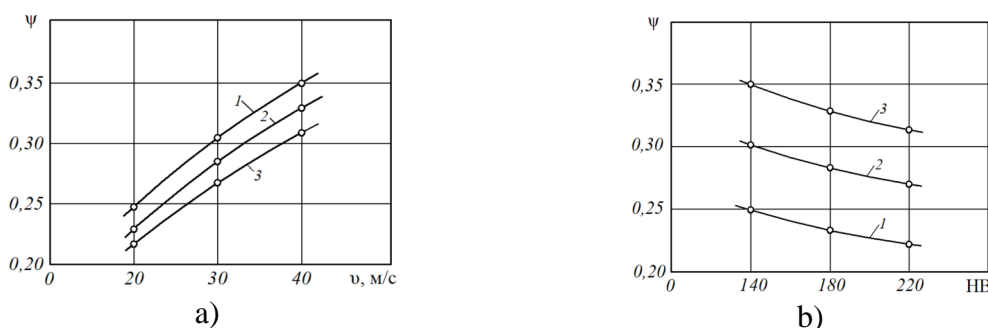
$v$  – zarba tezligi, m/s.

$HB$  – Brinell bo'yicha ishlov berilayotgan materialning qattiqligi.

(3) formulada dinamik qattiqlashish ko'rsatkichi 2 ga teng deb olingan va dinamik qattqlik statik qattqlik bilan metall va HB300 quymalari uchun adolatli bo'lgan  $H_d=1,6HB$  nisbati bilan bog'langan.

Yuza deformatsiyalanishi  $\Psi$  darajasini baholash kolosniklar tayyorlanadigan kulrang cho'yan HB 140...220 qattqlikka ega bo'lgan ferrit va ferrit-perlik tarkibga egaligi hisobga olinib bajarilgan. Cho'yanning po'latga nisbatan kam ifodalangan past plastik xususiyatlari sabab mikrosharchalarning tezligi pasaytirilgan va  $v=20...40 \text{ ,m/s}$  diapazoni ko'rsatkichlarida qabul qilingan.

$\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasining hisobiy ko'rsatkichlarini grafik ko'rinishi, ishlov berilayotgan materialining HB qattqligi va zarraning  $v$  urilish tezligiga bog'liq o'zgarishini aniqlash imkonini beradi (3-rasm).  $v$  urilish tezligining oshishi bilan  $\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasi nochiyiq bog'liqlikda zarbaning kinetik energiyasi oshganligi uchun ko'tariladi.  $v$  urilish tezligining 20 dan 40 m/s gacha ortishida  $\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasi HB220 bo'lganda 0,221 dan 0,313 gacha, ya'ni 42% ga ortadi.



**3-rasm.  $\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasining  $v$  zarba tezligiga bog'liqligi (a) turli qattqliklarda ( 1-HB140; 2-HB-180; 3-HB220 va ishlov berilayotgan materialning qattqligidan (b) zarbaning turli tezliklarida (1-  $v=20 \text{ m/s}$ ; 2-  $30 \text{ m/s}$ ; 3-  $40 \text{ m/s}$ )**

$\Psi$  yuza deformatsiyalanish darajasining o'zgarishiga ishlov berilayotgan materialning HB qattiqligi kam darajada ta'sir etadi. HB qattiqlikning 140 dan 220 gacha oshishida  $\Psi$  ko'rsatkichi o'rtacha 12 %ga kamayadi.

Negaki, yuza deformatsiyalanish darajasi  $d/D$  nisbatini ifodalagani uchun (2) tenglamaga binoan plastik iz radiusining  $a=d/2$  ifodasi quyidagicha yozish mumkin:

$$a = 1,14 R^4 \sqrt{\frac{\rho}{g} \cdot \frac{v^2}{HB}}, \text{ MM} \quad (3)$$

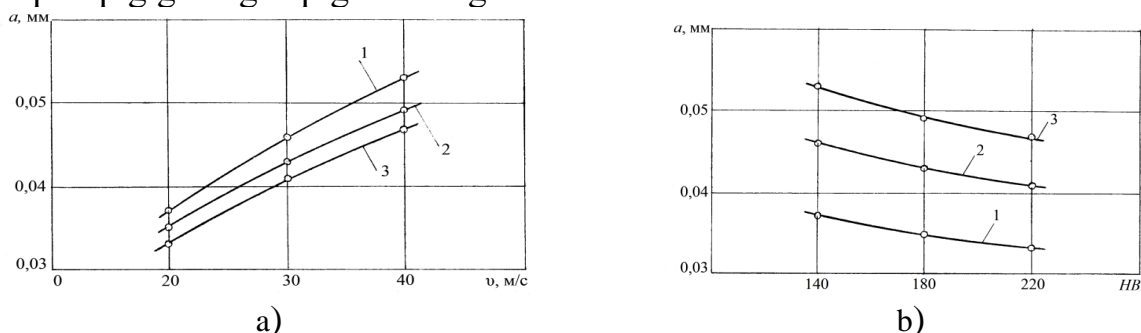
Bu erda  $R=D/2$  – zarra radiusi, mm.

Plastik izning radiusidan odatda tegishli statik kuchni hisoblash uchun foydalaniladi. Zarbali urish bilan ishlov berishda ko'p martali dinamik ta'sir natijasida plastik izning radiusi belgilangan ko'rsatkichgacha oshadi, so'ngra deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi. Shuning uchun, (3) formulaga ko'p martali ta'sir ostida iz radiusini hisobga oluvchi  $\varphi$  koeffitsiyenti kiritildi

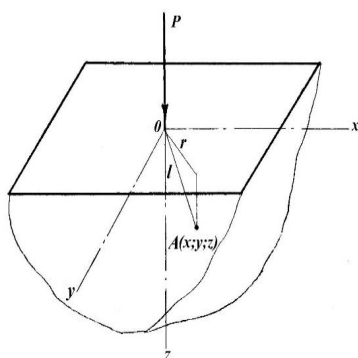
$$a = 1,14 \varphi R^4 \sqrt{\frac{\rho}{g} \cdot \frac{v^2}{HB}}, \text{ MM} \quad (3,a)$$

Bu yerda  $\varphi = 1,3 \dots 1,5$  – iz diametrining kattayish koeffitsiyenti.

3-rasmda plastik iz radiusining hisobiy ko'rsatkichlarining mikrosharchalarning  $R=0,15$  mm va  $0,2$  mm radiusda urilish tezligi va ishlov berilayotgan materialning HB qattiqligiga bog'liqligi keltirilgan.



**4-rasm. Plastik iz radiusi  $a$  ning zarba tezligi  $v$  ga bog'liqligi (a) har xil qattiqliklarda HB (1-140; 2-180; 3-220) va ishlov beriladigan materialning qattiqligiga bog'liqligi (b) har xil zarba tezliklarida (1-  $v=20$  m/s; 2-  $v=30$  m/s; 3-  $v=40$  m/s). Mikroshar radiusi  $R=0,15$  mm (a) va  $R=0,20$  mm (b).**



**5-rasm. Yarim cheksiz bo'shliq chegarasidagi normal konsentrlangan  $R$  kuch yuzaga keltiradigan kuchlanish holati uchun hisobiy chizma**

Plastikligi past bo'lgan materialdan yasalgan detallarni sirt qatlamini mikrosharchalar bilan ishlov berishda yuklanishni kuchlanish-deformatsiyalanish holati tadqiq qilindi. Hisobiy chizmada (4-rasm)  $z=0$  tekisligi jismning yarim cheksiz bo'shlig'ining chegarasi hisoblanadi va konsentrlangan siquvchi kuch  $R$  o'q  $Z$  bo'ylab yo'naltirilgan.

Mazkur holat uchun kuchlanish komponentlari quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$\sigma_z = -\frac{3Pz^3}{2\pi l^5};$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2\pi} \left[ \frac{1-2\mu}{l(l+z)} - \frac{3zr^2}{l^5} \right]; \quad (4)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{P}{2\pi} (1-2\mu) \left[ \frac{z}{l^3} - \frac{1}{l(l+z)} \right]; \quad \tau_{rz} = -\frac{3Pz^2r}{2\pi l^5}$$

bu yerda  $y_z, y_r, y_\theta$  – mos ravishda o‘q, radial va aylana normal kuchlanish.

Kuchlanganlik holatining tahlili odatda normal kuchlanish intensivligi  $\sigma_i^{\max}$  maksimal bo‘lgan parallel ishlov berilayotgan yuzalar qatlaminin nuqtalari uchun bajariladi. Chunki plastiklik nazariyasi bo‘yicha aynan kuchlanish intensivligi ishlov berilayotgan materialning hosil kuchiga ekvivalent deb qabul qilinadi. Z o‘qida joylashgan yuklash tekisligiga normal konsentrlangan R yuklanish harakatida konsentrlangan kuchlar harakati yo‘nalishiga mos keladi. Bunday holatda yuklash aksimetrik hisoblanadi va z o‘qida yotgan nuqtalar uchun kuchlanish komponentlari quyidagi formulalar bo‘yicha aniqlanadi:

$$\sigma_z = -\frac{P}{2\pi} \frac{3}{z^2}; \quad \sigma_x = \sigma_y = -\frac{P}{2\pi} \left( \frac{1-2\mu}{2z^2} \right) \quad (5)$$

Normal kuchlanishning ushbu uch komponenti (5) asosiy hisoblanadi, chunki z o‘qida yotuvchi nuqtalar uchun yonlama kuchlanishlar nolga teng va shu sababdan quyidagi tenglik adolatli:

$$\sigma_1 = \sigma_z; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_x = \sigma_y \quad (6)$$

Chunki kuchlanish intensivligi  $\sigma_i$  ning umumiy hajmli kuchlanish holatidagi ifodasi quyidagi bog‘liqlik orqali aniqlanadi:

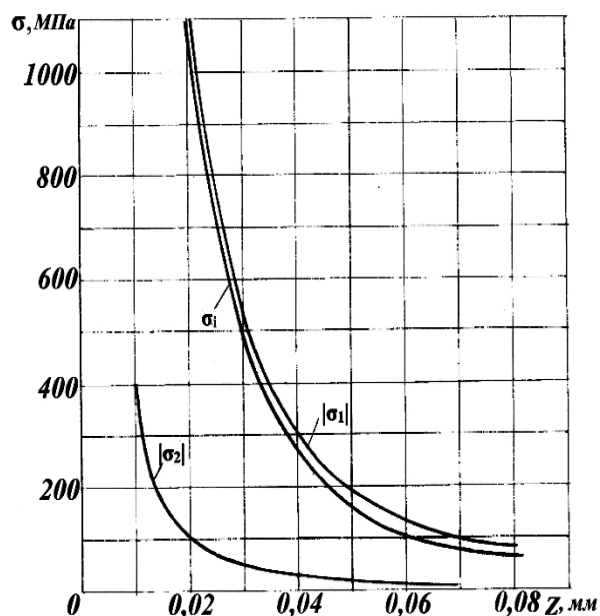
$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (7)$$

Shunday qilib, ko‘rib chiqilayotgan yuklash holati uchun, qachonki  $\sigma_2 = \sigma_3$  bo‘lsa, kuchlanish intensivligi  $\sigma_i = |\sigma_1 - \sigma_2|$  ga teng bo‘ladi. Shuning uchun (6) va (7) ifodalarni hisobga olgan holda, o‘zgarishlardan so‘ng, nuqtaviy kuch ta’siridagi kuchlanish intensivligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\sigma_i = \frac{P}{2\pi z^2} \left( 3 - \frac{1-2\mu}{2} \right). \quad (8)$$

Bu yerda P – birlik nuqtaviy kuch, ya’ni plastinka qalinligining birligiga to‘g‘ri keladigan yuklanish.

Mexanik xususiyatlari - ko‘ndalang deformatsiya koeffitsiyenti  $\mu=0,23\dots0,27$ ; elastiklik moduli  $E=(0,15\dots1,60)\cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup> bo‘lib, plastikligi past kulrang cho‘yan uchun normal kuchlanishning hisob-kitobi (5), (6) va (8) formulalar

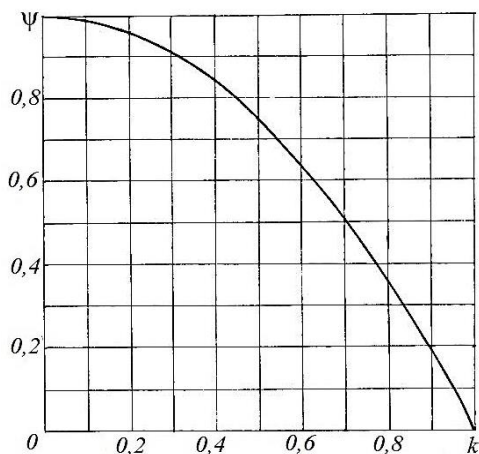


6-rasm. Yarim cheksiz fazo chegarasiga qo‘yilgan  $P=1$  N birlik nuqtaviy kuch uchun asosiy kuchlanishlar  $\sigma_1, \sigma_2$  va kuchlanish intensivligi  $\sigma_i$  ning sirt qatlami chuqurligi z bo‘yicha bog‘liqligi.

bo'yicha bajarildi.

6-rasmda asosiy normal kuchlanish  $\sigma_1$  va  $\sigma_2$ , hisobiy ko'rsatkichlarining, shuningdek konsentrlangan kuch P ta'sirida yuza qatlami chuqurligi z bo'yicha  $\sigma_i$  kuchlanish intensivligining bog'liqligi ko'rsatilgan. Kuchlanish  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  va  $\sigma_i$  ning yuza qatlami chuqurligi bo'yicha keskin pasayishining qonuniyati aniqlandi: mazkur kuchlanish  $z=0,02$  dan  $0,06$  mm gacha chuqurlikdan o'tganda 9 baravar kamayib ketadi va masalan  $\sigma_i$  uchun mos ravishda 1095 MPa va 122 MPa tashkil qiladi.

Zarba berishda energiya yo'qotishni hisoblash uchun Gersning elastik kontakt nazariyasidan foydalanish maqsadga muvofiq.



**7-rasm. Energiyaning yo'qotish ko'effitsiyenti  $\xi$  ning zarba vaqtida tezlik tiklanish ko'effitsiyenti k ga parabolik bog'liqligi ( $0 \leq k \leq 1$ )**

$W$  – mikrosharchaning kinetik energiyasi farqi;

$v_0, v_1$  – mikrosharchaning mos ravishda boshlang'ich va oxirgi (zarbadan keyingi) tezliklari.

Chunki zarba paytidagi tezlikni tiklash ko'effitsiyenti  $k = |v_0|/|v_1|$  formula bilan aniqlanadi, (10) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\xi = (1 - k^2) \quad (10)$$

7-rasmda zarba paytidagi tezlikni tiklash ko'effitsiyenti k ga bog'liq holda energiya yo'qotish ko'effitsiyenti  $\xi$  ning parabolik bog'liqligi berilgan. k ko'rsatkichining ortishida  $\xi$  ko'effitsiyentining intensiv kamayishi belgilangan: k 0,2 dan 0,8 gacha (4 baravar) ortishida zarba berishda energiya yo'qotish ko'effitsiyenti 2,67 baravar kamayadi.

Zarbada tiklanish ko'effitsientining hisoboti amaliy foydalanish uchun qulay bog'liqlik asosida amalga oshirildi, chunki uning kinetik energiyasiga kiruvchi granular massasi  $\rho$  zichligi va V hajmi orqali ifodalangan. Formuladagi  $E_{np}$  – keltirilgan elastiklik moduli bo'lib, u quyidagi bog'liqlik orqali aniqlanadi:

$$k = 1,63 \sqrt{HB^{1,25} / (\rho^{0,25} v_0^{0,5} E_{np})} \quad (11)$$

Ishlov berilayotgan (mustahkamlanayotgan) material – kulrang cho'yan; elastiklik moduli  $E_2=(1,15-1,60) \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_2=(1,15-1,60) \cdot 10^5$  deb qabul qilamiz; Puasson ko'effitsienti  $\mu_2=0,23-0,27$ ,  $\mu_2=0,25$  qabul qilamiz. Ferritli va ferrit-perlitli

cho'yanlarning (SCh15) qattiqligi HB143–229 ni tashkil etadi, HB229 deb qabul qilamiz.

Keltirilgan ma'lumotlarda  $E_{mp}=1,12 \cdot 10^5$  H/mm<sup>2</sup>, mikrosharchalarning uchish tezligi  $v_0=20$  m/s bu  $v_0=20-40$  m/s diapazonidan tanlangan bo'lib, zarba paytida tezlikni tiklash koeffitsienti  $k=0,224$  ni tashkil etdi, bu  $\xi=0,95$  energiya yo'qotish koeffitsientiga mos keladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik differensial tenglamasining ma'lum fundamental yechimiga muvofiq, ma'lum termal-fizik xususiyatlarga ega bo'lgan qattiq jismning istalgan nuqtasidagi harorat  $\Theta$ , nuqtaviy bir lahzalik issiqlik manbai ta'sirida quyidagilarga bog'liq bo'ladi:

1) Ushbu manba kiritgan issiqlik  $Q(D_j)$  miqdoridan; 2) manbadan berilgan nuqttagacha bo'lgan masofa  $R(m)$ ; 3) impuls momentidan kuzatuv momentigacha o'tgan vaqt  $t(s)$  va quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{Q}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi t)^{3/2}} \exp\left[-\frac{R^2}{4\omega t}\right], \quad (12)$$

bu yerda  $\lambda$  - issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/(m<sup>0</sup>S);

$Q$  - zarra urilishida ajraladigan issiqlik, Dj.

$\omega = \lambda / (c\rho)$  - harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m<sup>2</sup>/s;

$c\rho$  - hajmiy issiqlik sig'imi, Dj/ (m<sup>3</sup>·0S);

$R = \sqrt{(x_u - x)^2 + (y_u - y)^2 + (z_u - z)^2}$  - issiqlik manbasidan ko'rilayotgan nuqttagacha koordinatalari  $x, y, z$  bilan masofa, m

$\exp\left[-\frac{R^2}{4\omega t}\right]$  - eksponensial funksiya.

Cho'yan detallarni po'latdan tayyorlangan mikrosharchalar bilan zarba berish orqali mustahkamlashda kontakt haroratini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi, unga ko'ra, masalan, yuza qatlamining chuqurligi  $R=z=0,01$  mm bo'lgan nuqtasining harorati quyidagini tashkil qiladi:

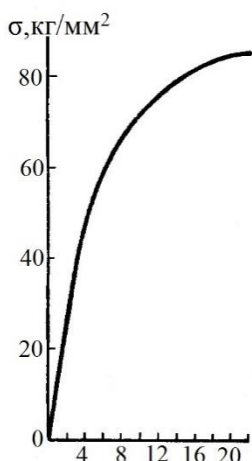
$$\theta = \frac{Q_m}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi t)^{3/2}} \exp\left[-\frac{R^2}{4\omega t}\right] = \frac{28,26 \cdot 10^{-6}}{0,586 \sqrt{0,113 (4 \cdot 3,14 \cdot 0,0077 \cdot 10^{-4})^{3/2}}} \exp\left[-\frac{0,01^2}{4 \cdot 0,113 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0077^{-4}}\right] =$$

$$= \frac{28,26 \cdot 10^{-6}}{0,00591 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,0568 = 272 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Kulrang cho'yanni granulali zarba berish orqali ishlov berishda haroratning pastroq qiymatlari po'lat buyumlariga nisbatan yuqoriroq issiqlik o'tkazuvchanligi bilan bog'liq bo'lib, eng muhimi, plastik deformatsiya hisobiga ingichka qatlamlarning sovuq ishlash (naklyop) effekti pasaymaydi va maksimal mikroqattqlik zonasining sirt osti qatlamiga siljishiga olib kelmaydi.

Dissertatsiyaning **“Mikrosharchalar bilan dinamik mustahkamlashda panjaralarning sirt sifati bo'yicha nazariy-eksperimental tadqiqoti”** nomli uchinchi bobida kolosniklar tayyorlash uchun past plastik konstruksion material - kulrang cho'yaning deformatsiyalanishi va yemirilishi xususiyatlari o'rganildi, mikrosharchalar bilan ishlov berishda deformatsion qattiqdashirish chuqurligining detal materiali qattiqligi va normal ezish kuchi orasidagi o'zaro bog'liqlik belgilandi.

Cho‘yan kolosniklarning ishchi yuzasining qattiqligi va g‘adir-budurligi eksperimental aniqlashning uslubiyati va natijalari taqdim etildi.



**8-rasm. Cho‘yan siqilgandagi kuchlanish diagrammasi**

Kulrang cho‘yanning deformatsiyalanish xususiyatlari va cho‘zish va siqishdagi kuchlanish diagrammalarining tahlili bajarildi. Cho‘yan uchun Guk qonuni nisbiy deformatsiyalanish  $\varepsilon=3\%$  bo‘lganda yaqinroq kelishi aniqlandi va keyinchalik egri bog‘liqlik kuzatildi.

Pardozlash-qattiqlashtirish jarayonida naklep chuqurligi  $h_H$  yoki deformatsion qattiqlashtirish, plastik deformatsiyalarning tarqalish chuqurligi kabi ko‘pchilik tadqiqotchilar tomonidan S.G.Xeyfets formulasi bo‘yicha aniqlanadi.

$$h_n = \sqrt{P / (2\sigma_T)}, \text{ mm} \quad (13)$$

bu erda, P deformatsiyalanishning normal kuchi (ezish kuchi), N.

$\sigma_T$  – fizik ishlov berilayotgan materialning hosil kuchi, N/mm<sup>2</sup>.

Konstruksion po‘latlarning katta guruhi  $\pm 15\%$  uchun xatolikni inobatga olgan holda  $\sigma_T \approx HB/6$  qabul qilish mumkin va HB qattqlikni Brinellyu va Meyer (Meyer bo‘yicha dinamik qattqlik) bo‘yicha aniqlash mohiyatiga asoslangan holda naklep chuqurligi uchun quyidagi bog‘liqlik olindi.

$$h_n = 1,535 d \sqrt{\frac{HM}{HB}}, \text{ mm} \quad (14)$$

Bu yerda, d – chuqurcha (plastik iz) diametri, mm.

Mustahkamlash darajasiga qarab, HM/HB nisbati mo‘tadil mustahkamlash darajasida ma‘lum chegaralarda bo‘ladi. 10-12 zarbadan so‘ng deyarli to‘xtaydi va mazkur ko‘rsatkichlarga erishiladi  $d=(1,25...1,35)d_1$  ( $d_1$ – plastik izning birinchi zarbadan keyingi diametri), mikrosharchalar bilan qattiqlashtirilganda naklep chuqurligini esa yakuniy ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$h_H = (2,34...3,10)d_1, \text{ mm} \quad (15)$$

(15) formulaga ko‘ra, nakalet chuqurligining hisoblangan qiymati  $v=20$  m/s tezlikda,  $D=0,3$  mm diametrli sharchalar bilan va cho‘yanning qattiqligi HB220 bo‘lganda, sirt deformatsiyasi darajasi  $\Psi=0,2205$  bo‘lgan holatda  $h_H=0,1548-0,2051$  mm ni tashkil etadi. Olingan naklyop chuqurligi qiymatlari eksperimental ma‘lumotlardan 9-14% farq qiladi, bu esa amaliy qo‘llash uchun ushbu bog‘liqlikning maqbulligini ko‘rsatadi.

Zarba vaqtida ezish kuchi P ni analitik baholash, shuningdek, qattiq, deformatsiyalanmaydigan sferik indentorning yumshoqroq metall to‘siq bilan to‘qnashuvi jarayonining fizik tomonini ko‘rib chiqish orqali amalga oshirilishi mumkin (2-rasm). Bu jarayon sferaning ishlov berilayotgan muhitdagi harakat tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$P = \pi p_0 r^2 \approx 2\pi p_0 R h = -m \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (16)$$

bu differensial tenglamaga keltiriladi:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{\pi D \sigma_{\tau}}{m} \cdot h = 0,$$

uning yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$h = v_0 \sqrt{\frac{m}{\pi D \sigma_{\tau}}} \sin \left( \sqrt{\frac{\pi D \sigma_{\tau}}{m}} \cdot t \right), \text{ MM}$$

Bu yerda,  $r=d/2$  - plastik iz radiusi;

$m, R$  - sharning mos ravishda massa va radiusi;

$h$  - sharsimon indenterning chuqur kirishi;

$p_0$  - o‘zgarmas va ishlov beriladigan materialning hosil kuchi deb qabul qilinadigan bosim kuchi, ( $p_0=t$ ).

Shunday qilib, ishlov berilayotgan yuzaga sharning kirishining maksimal chuqurligiga to‘g‘ri keladigan ezish kuchi quyidagini tashkil qiladi.

$$P = \pi D^2 v_0 \sqrt{\frac{\sigma_{\tau} \rho}{6}}, H \quad (17)$$



**9-rasm. HRS-300E qattqlik o‘lovchi priborning o‘lchov-registratsiya blogi**



**10-rasm. “Yuklash-vaqt” diagrammasini avtomatik yozish bilan yuklash (o‘lchash) boshlanishini registratsiyasi**



**11-rasm. “Yuklash-vaqt” diagrammasini avtomatik yozish bilan yuklash (o‘lchash) tugashining registratsiyasi**

1-jadvalda jin va linterlar uchun cho‘yan kolosniklarning HB qattqligini aniqlash bo‘yicha eksperiment natijalari keltirilgan, Ko‘rsatkichlar uch o‘lchovning o‘rtachasi sifatida keltirilgan (10,11-rasmlar)

Rossiyada ishlab chiqarilgan qattqlashtirilmagan kolosniklarning ishchi zonadagi past ko‘rsatkichlarini kulrang cho‘yanning tarkibiy bir xil emasligi va metall asosga ega quymaga nisbatan qattqligi ancha past bo‘lgan grafit qo‘shimlarning betartib joylashganligi bilan izohlanadi.

1-jadval

Ekspluatatsiyadan keyin SCh15 cho‘yan kolosniklarning qattqligini Brinell bo‘yicha o‘lchash natijalari

№	Kolosniklar bo‘yicha ma’lumot	Jin uchun kolosniklar		Linter uchun kolosniklar	
		ishchi zonadan tashqari	ishchi zonada	ishchi zonadan tashqari	ishchi zonada
1	Qattqlashtirilmagan(Rossiya)	325,7	215,1	208,4	190,3
2	Qattqlashtirilgan(Rossiya)	322,8	216,3	206,8	198,5
3	Qattqlashtirilgan(Xitoy)	216,8	208,2	233,0	213,1

Cho‘yan kolosniklar g‘adir-budurligining ( $R_z$ ,  $R_a$ ) yuqori parametrlarini belgilash maqsadida, shuningdek mashinalarning ekspluatatsiya davrida ularni transformatsiyasida eksperimental tadqiqotlar bajarildi. Sirt qatlamning g‘adir-budurligi parametrlarini o‘lchash uchun his qiluvchi (kontaktlanuvchi) usulga asoslangan TIME3200 priboridan (12-rasm) foydalanildi. Mazkur usul sirt notekisligini o‘lchashning profil usulining asosiy varianti hisoblanadi.



**12-rasm. Kolosniklar yuzasining notekisligini o‘lchash pribori ( $R_a$  va  $R_z$  parametrlari)**

2-jadvalda jin va linterlar kolosniklarining uzoq foydalanilgan so‘nggi ishchi va undan tashqarida yuza qatlamining notekisligi o‘lchash natijalari keltirilgan. Ko‘rsatkichlar uch o‘lchamning o‘rtachasi qilib olingan. Eksperiment ma‘lumotlarining tahlili shuni ko‘rsatmoqdaki, jin kolosniklarini mikrosharchalar zarbali qattiq/ashtirishdan keyin  $R_a$

parametri 0,908 dan 1,370 mkm gacha ortadi, linter kolosniklari uchun esa 0,592 dan 1,298 mkm gacha. Tegishli ravishda  $R_z$ : parametri: jin kolosniklari uchun 5,355 dan 8,652 mkm gacha va linterniki - 3,972 dan 5,907 mkm gacha. Olingan natijalar adabiyotlar ma‘lumotlarigi zid kelmaydi, yuza notekisligini nisbatan past parametri ( $R_a=1,25...0,16$  mkm) saqlanib qolinadi yoki ozgina oshadi (bizning holat kabi), yuqori ko‘rsatkich ( $R_a=10...1,5$  mkm)  $R_a=2,5...1,25$  mkm gacha pasayishi mumkin.

2-jadval

Jin va linterlar uchun cho‘yan kolosniklarda o‘lchangan yuza notekisligining  $R_a$ ,  $R_z$  (mkm) yuqori parametrlari

№	Kolosniklar bo‘yicha ma‘lumot	Jin uchun kolosnikilar				Linter uchun kolosnikilar			
		ishchi zonadan tashqari		ishchi zonada		ishchi zonadan tashqari		ishchi zonada	
		$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$
1	Qattiqlashtirilmagan (Rossiya)	0,429	3,019	0,908	5,355	1,731	12,49	0,592	3,972
2	Qattiqlashtirilgan (Rossiya)	0,511	3,083	1,370	8,652	0,186	2,211	1,298	5,907
3	Qattiqlashtirilgan (Xitoy)	0,793	4,875	0,524	3,299	0,764	5,868	1,350	8,723

Jin kolosniklari uchun yuqori parametr  $R_a$  ifodalangan yuzaning dastlabki notekisligi  $R_a=0,429$  mkm bo‘lgani bois talab qilinadigan ko‘rsatkichlar 0,63...0,32 mkm diapazoniga mos keladi, linter kolosniklari bo‘yicha esa  $R_a=1,731$  mkm bo‘lib, tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar  $R_a=1,25...0,63$  mkm diapazonidan yuqori.

To‘rtinchi **“Qattiqlashtirilgan cho‘yan kolosniklarning chidamliligining sanoat sinovlari va tadqiqot natijalarini ishlab chiqarishga tadbiq etish”** bobida paxta tozalash korxonasi sharoitida qattiqlashtirilgan cho‘yan kolosniklarning

chidamliligini solishtirma eksperimental tadqiqotlarini o'tkazish uslubiyati, qattiqlashtirilgan kolosniklarning chidamliligining prognoz baholash va ularning yemirilish kriteriysini asoslanishi, mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish orqali qattiqlashtirishning iqtisodiy samaradorligining hisobi keltirilgan.



**13-rasm. Chidamlilikni sinash uchun nazorat kolosniklari bilan 5LP linteri**

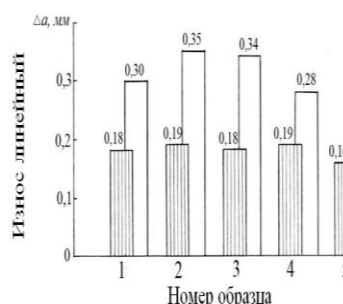


**14-rasm. Chidamlilikni sinash uchun jin nazorat kolosniklari**

Qattiqlashtirilgan cho‘yan kolosniklarning sanoat sinovlari Toshkent viloyati “Real Agro Cotton” MChJning Yuqorichirchiq filialining jin-linter sexida o‘tkazildi (13-rasm). Eksperimental (qattiqlashtirilgan) va korxonada kolosniklari bir xil sharoitda bir mashinaga komplektda 5 tadan o‘rnatilib ishlatildi (14-rasm). Kolosniklar DP-90 arrali jin va 5LP linteriga o‘rnatildi.



**15-rasm. Cho‘yan kolosniklarni mikrosharchavlar bilan zarbali ishlov berish qum sochuvchi apparat**



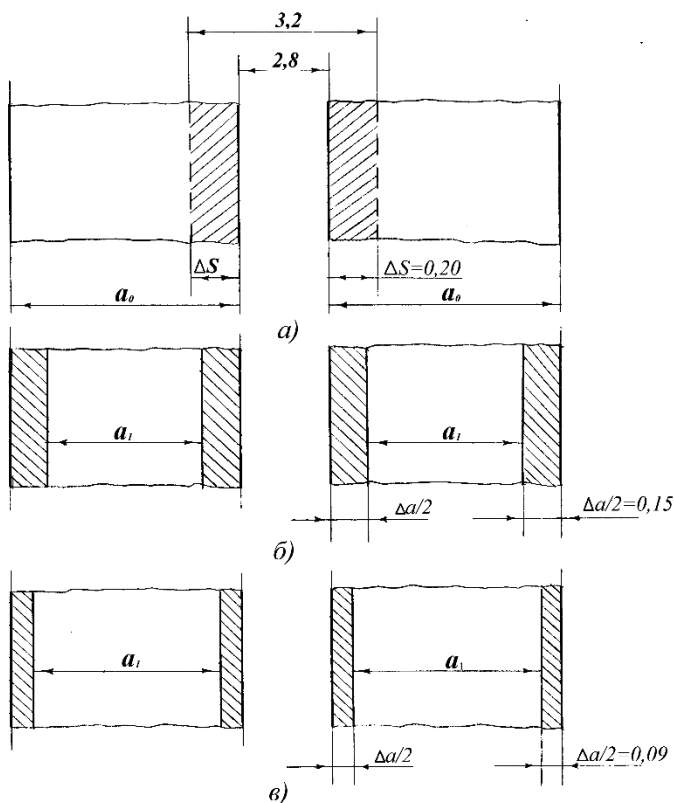
**16-rasm. Sinovlarning nazorat vaqtida jin cho‘yan kolosniklarining ishchi zonada chiziqli yemirilish/ining  $\Delta a$  diagrammasi:**

□□□□ - mikrosharchalar bilan deformatsion qattiqlashtirish zarbasidan keyin;  
 □ - ishlovsiz

Sinovlar “Sulton”, “Namangan-77” seleksiyasi, qo‘l terimi 1, 2 va 3 sanoat navi, iflosligi 3 dan 12-14% gacha, namligi 6-7 dan 20-22% gacha bo‘lgan 2022-yilgi paxta xomashyosida o‘tkazildi.

Kolosniklar ishchi zonasining yon sirtlariga mikrosharchalar bilan ishlov berishda eksperimental tadqiqotlar Toshkent mexanika zavodida tayyorlangan va foydalanilayotgan qum sochuvchi apparatda o‘tkazildi (15-rasm). Eksperimentlarda GOST 11964-81YE oid, 860-900 °S haroratda pishitilgan, keyin past harorat 180-220 °S darajada 1,5-2 soat sovutilgan past karbonli po‘latdan quyma zarralardan (DSL) foydalanildi. Mazkur zarra HV365-545 qattqlikka ega, statik yuklanish bilan

qisishga bardoshliligi – 6000 N, zarra raqamiga mos keladigan 0,3-2,2 mm o‘lchamlarda tayyorlandi.



**17-rasm. Kolosniklar yemirilishining natijalarini texnologik oraliq bilan solishtirish:**  
**a) texnologik oraliqqa yo‘l qo‘yiladigan maydon  $\Delta S$ ; b) jin kolosniklarining ishlov berilmagan ishchi yuzasining sinovning nazorat vaqtida yemirilishi  $\Delta a = a_0 - a_1$ ; v) jinning qattiqlashtirilgan kolosniklarining sinovning nazorat vaqtida yemirilishi  $\Delta a = a_0 - a_1$**

Mikrosharchalar bilan ishlov berish tartibi va sharoitlari: qisilgan havo bosimi  $\rho = 3 \dots 4$  atm (0,3...0,4 MPa), ishchi jism diametri  $D = 0,3 \dots 0,4$  mm, urilish burchagi  $\alpha = 90^\circ$ , ishlov beriladigan yuzagacha bo‘lgan masofa  $l = 15 \dots 20$  sm. Ishlab chiqarish sharoitida eksperimentlarni o‘tkazish uslubiyati va rejasiga binoan nazorat kolosniklar 105 kun davomida uzluksiz va uzoq ekspluatatsiya qilingandan so‘ng (1.04.23 yildan 02.08.23 yilgacha) maxsus belgilangan teglar bo‘yicha ishchi zonada kolosniklarning eni standart mikrometr bilan o‘lchash bilan vizual tekshirildi.

Kolosniklarning dastlabki  $a_0$  va keyingi enini  $a_1$  bilgan holda ishchi zonada chiziqli yemirilish  $\Delta a$  ko‘rsatkichi uch o‘lchamning o‘rtachasi sifatida aniqlandi. Qattiqlashtirilgan yuzaga ega cho‘yan kolosniklarning mutlaq chiziqli yemirilishi  $\Delta a$  ishlov berilmagan kolosniklarga ( $\Delta a = 0,304$ ) nisbatan 1,7 marta kam bo‘lib 0,176 mmni tashkil qildi (16-rasm).

Linterlar uchun cho‘yan kolosniklarning ishlab chiqarish sinovlari ham mikrosharchalar bilan ishlov berilgan kolosniklarning ishlov berilmaganga nisbatan afzalligini ko‘rsatdi. Xuddi o‘shanday davr mobaynida ekspluatatsiya qilingan qattiqlashtirilgan kolosniklarning yemirilishi o‘rtacha  $\Delta a = 0,14$  mm, qattiqlashtirilmaganlarniki – 0,31 mm, ya‘ni chidamliligi 2,2 baravar ortiq.

Jinlar uchun qattiqlashtirilgan va qattiqlashtirilmagan kolosniklarning ishlash vaqtiga ko‘ra eskirishni rivojlantirish tenglamasi va yemirilishning tegishli bog‘liqlari olindi.

$$\Delta a_1 = \sqrt{\frac{t}{3389,7}}, \text{ mm}; \quad \Delta a_2 = \sqrt{\frac{t}{1136,2}}, \text{ mm}; \quad (18)$$

Eskirishni rivojlantirish  $t = f(\Delta a)$  tenglamasidan va undan kelib chiqadigan yemirilish tenglamasini eskirish chegarasi va kolosniklarni uzoq muddatligi kriterial baholash bildan asoslash mumkin.

Qattiqlashtirilgan cho‘yan kolosniklarning yuqori chidamliligi tola ajratuvchi mashinalarda kolosniklar oralig‘ini tavsiya etilgan texnologik o‘lchamini uzoq vaqt saqlanishiga imkon beradi.

Chegaraviy ko‘rsatkichlar  $3 \pm 0,2$  mm farqi sifatida aniqlanuvchi va  $\Delta S = 0,4$  mm ni tashkil etuvchi texnologik oraliq S ko‘rsatkichlaridan kelib chiqqan holda kolosniklar eskirishi ko‘rsatkichi  $\Delta a$  ni  $\Delta S$ , ya‘ni  $\Delta a \leq \Delta S$  ko‘rsatkichi bilan belgilash lozim. 17-rasmda texnologik oraliqning yo‘l qo‘yiladigan chizig‘i va kolosniklarning eskirirish (bir tomonlama) kattaliklari solishtirilgan

Jin kolosniklarining eskirish qarshiligini eksperimental tadqiqotlar ma‘lumotlarini hisobga olgan holda quyidagi qiymatlar olindi: bir tomonlama eskirish va  $a/2 = 0,09$  va  $0,15$  mm, o‘z navbatida, qattiqlashtirilgan va ishlov berilmagan panjaralar uchun oraliq  $\Delta S/2 = 0,2$  mm. Shunday qilib, qattiqlashtirilgan kolosniklar uchun ishlash muddatining sezilarli zahirasi saqlanib qoladi.

Ishlab chiqarishga tola ajratuvchi mashinalarning qattiqlashtirilgan, , ishchi kameraning asosiy qismlarining ishlashining asosiy kriteriysi bo‘lgan yuqori chidamliligi bilan farq qiladigan cho‘yan kolosniklarini tadbiq etishdan olinadigan iqtisodiy samaradorligi keltirilgan. Ishlab chiqarishda jin va linterlar chidamliligi uzoq muddatli bo‘lgan qattiqlashtirilgan kolosniklardan foydalanish hisobiga yillik iqtisodiy samara 84097,1 ming so‘mni tashkil qildi.

## XULOSA

Dissertatsiya ishida bajarilgan nazariy-eksperimental tadqiqotlar natijari asosida quyidagi xulosalar qilindi:

1. Jin va linterlarda kolosniklar texnologik oralig‘ining ularning ishchi yuzasining chidamliligi hisobiga uzoq saqlanishi sifatli tola ajratilishiga imkon beradi. Cho‘yan kolosniklarni mexanik qattiqlashtirish usuli an‘anaviy termik ishlov berishga nisbatan texnologik afzalliklarga ega va ortiqcha xarajatlarni talab qilmaydi, bu qismlarning sirt qatlamining qattiqligini oshiradi va shuning uchun eskirish qarshiligini oshiradi.

2. Turli qattiqlikdagi metall tarkibi uchun maksimal naklep darajasining bog‘liqligini tahlil qilina turib, mos ravishda 150 va 200 HB qattiqlikga ega bo‘lgan ferrit va ferrit-perlitli cho‘yanlarda naklepning maksimal darajasi 55-35% tashkil etishi belgilandi. Keltirilganlar sirt qatlamini deformatsion qattiqlashtirish effektini yaratish maqsadida kolosniklarning past plastikli material – SCh15 kulrang cho‘yanga mexanik ishlov berish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

3. Cho‘yan materiallarga po‘lat mikrosharchalar bilan zarbali ishlov berish jarayonida uning deformatsiya holatini tadqiq qilinganda zarra urilish tezligi  $v = 20 \dots 40$  m/s bo‘lganda qattiqligi HB140...220, ferrit va ferrit-perlitli tarkibli kulrang cho‘yanlarda sirt deformatsiyalanish darajasi  $\Psi$  aniqlandi. Tezlikning berilgan diapazonida HB220 qattiqlikda  $\Psi$  0,221 dan 0,313 gacha (42%) ortadi.

4. Cho‘yan detallarni mikrosharchalar bilan dinamik qattiqlashtirishda sirt qatlamning kuchlanish holatini baholash konsentrlangan kuch R sifatida bir nuqtada qo‘llanilgan kontakt kuchini modellashtirish asosida bajarilgan. Dinamik vazifa statik masala sifatida qabul qilingan taxminlar asosida hal qilinadi va yarim cheksiz

jismning sirt qatlamining chuqurligi bo'yicha asosiy normal kuchlanishlar uchun 1, 2 va kuchlanish intensivligi  $i$  uchun bog'liqliklar olindi.

5. Mikrosharchalar bilan ishlov berish orqali qattiqashtirish teplofizik tahlili asosida SCh15 kulrang cho'yanga (HB220) diametri  $D=0,3$  mm, tezligi  $v=30$  m/s bo'lgan po'lat zarralar bilan ishlov berishda  $z=0,01$  mm chuqurlikda harorati  $\theta=272$  °S ga teng kontakt haroratning algoritmi ishlab chiqildi. Haroratning bunday darajasi yupqa sirt qatlamida termoplastik deformatsiyalanish va strukturaviy hamda fazali transformatsiyalarni yuzaga chiqarmaydi.

6. Mikrosharchalar bilan ishlov berishda Meyer bo'yicha dinamik qattqlik HM va Brinellyu bo'yicha statik qattqlikning o'zaroaloqasini, shuningdek qattiqashtirilgan sirtga zarraning ko'p marotaba (10-12 urilishgacha) urilish faktini hisobga oluvchi naklep chuqurligini  $h_n$ , aniqlash uchun tahliliy bog'liklik olindi. Ishlov berilayotgan muhitda sharsimon jism harakati tenglamasi va  $R_a=0,63...0,32$  mkm  $R_a=0,63...0,32$  mkm kelib chiqadigan ezishning normal kuchi bog'likligining tahlili bajarildi.

7. Jin va linterlar cho'yan kolosniklarining sirt qattqligi dastlabki va ishlab chiqarish sharoitida davomli vaqt ichida foydalanilgandan keyingi holati eksperimental tadqiq qilindi. Ishchi zonasi qattiqashtirilmagan va qattiqashtirilgan kolosniklar 105 kun davomida ishlatilgandan so'ng HB Brinell bo'yicha kolosniklar ishchi qismining qattqligi mos ravishda 34 va 33% ga kamaydi.

8. Jin va linterlar kolosniklarida o'lchangan sirt g'adir-budurligining  $R_a$  va  $R_z$  yuqori parametrlari eksperimental aniqlangan. Jin kolosniklari uchun o'rtacha arifmetik og'ish  $R_a$ , ifodalangan sirtning dastlabki g'adir-budurligi talab qilinadigan ko'rsatkichlar  $R_a=0,63...0,32$  mkm diapazoniga mos keladi; linter kolosniklari uchun  $R_a=1,731$  mkm bo'lib, tavsiya etiladigan ko'rsatkichlar  $R_a=1,25...0,63$  mkm diapazonidan biroz yuqori.

9. Eskirishga qarshi o'tkazilgan sinovlar natijasida shu narsa belgilandiki, mikrosharchalar bilan qattiqashtirilgan kolosniklar 105 ish kuni davomida ishlatilib, qattiqashtirilmagan kolosniklarga nisbatan yuqori chidamlilikni ko'rsatdi. Qattiqashtirilgan sirtli jin kolosniklarining yemirilishi ishlov berilmaganga nisbatan 1,7-marta kam, linterlarniki esa 2,2 baravar kam.

10. Kolosniklarning muvofiqlashtirilgan texnologik oralig'iga ta'sir etuvchi kolosniklarning mutlaq chiziqli eskirishi  $\Delta a$  prognoz baholashni amalga oshirishga imkon beradigan vaqtga  $t$ , bog'liq ravishda kolosniklarning eskirishining sinov natijalari bo'yicha eskirishni rivojlanish tenglamalari olindi.

11. Paxta tozalash korxonalari sharoitida jin va linterlarda chidamliligi uzoq muddatli bo'lgan qattiqashtirilgan kolosniklardan foydalanish hisobiga yillik iqtisodiy samara 84097,1 ming so'mni tashkil qildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.11.2021.Т.141.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ  
ИНСТИТУТЕ ВОЛОКНИСТЫХ КУЛЬТУР**

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ВОЛОКНИСТЫХ  
КУЛЬТУР**

**ЮСУПОВ АЪЛО АНВАРОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ХЛОПКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН МЕХАНИЧЕСКИМ  
УПРОЧНЕНИЕМ КОЛОСНИКОВ В ПРОЦЕССЕ ДРОБЕСТРУЙНОЙ  
ОБРАБОТКИ**

**05.02.03 - Технологические машины. Роботы, мехатроника и робототехнические  
системы**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО  
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2025**

Тема диссертации на доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под регистрационным номером B2024.4.PhD/T2665.

Диссертация выполнена в правительственном учреждении Научно-исследовательском институте волокнистых культур.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научно-исследовательском институте волокнистых культур <http://paxtasanoatilm.uz/> и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Муминов Мансурбек Рахимович**

доктор философии (PhD) по техническим наукам,  
старший научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Росулов Рузимурод Хасанович**

доктор технических наук, профессор

**Ибрагимов Фарход Хайруллаевич**

доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Джизакский политехнический институт**

Защита диссертации состоится 27 августа 2025 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc. 30/30.11.2021.T.141.01 при научно-исследовательском институте волокнистых культур по адресу: 111202, Ташкентская обл., Кибрайский район, Ботаника, ул. УЗПИТИ, НИИССААВХ Административное здание Научно-исследовательского института селекции, семеноводства и агротехнологий выращивания хлопчатника, 1-этаж, большой зал совещаний, тел.: (+99871) 207-04-03, факс: (+99871) 256-04-21.  
e-mail: <https://www.paxtasanoatilm.uz>.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре научного исследовательского института волокнистых культур (зарегистрирована за № 45). Адрес: 111202, Ташкентская обл., Кибрайский район, Ботаника, ул. УЗПИТИ, НИИССААВХ. Тел.: (+99871) 207-04-03, факс: (+99871) 256-04-21.

Автореферат диссертации разослан 18 августа 2025 года.  
(реестр Протокола рассылки № 45 от 18 августа 2025 года).



**Т.М.Кулиев**

Председатель научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., проф.

**Р.К.Джанолов**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., проф.

**Р.Ш.Сулайманов**

Председатель научного семинара  
при научном совете по присуждению  
ученных степеней, д.т.н., проф.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мировой текстильной промышленности хлопковое волокно составляет 55-60 % от общего объема производства волокнистых материалов. Спрос на натуральные продукты, особенно на текстильные изделия и продукцию легкой промышленности из хлопкового волокна, непрерывно растет вследствие интенсивно растущего населения. По данным Международного консультативного комитета по хлопку (ICAC), "...ежегодно в мире производится 23–24 млн. тонн хлопкового волокна, а его потребление составляет 24–25 млн. тонн<sup>1</sup> учитывая эти данные, для обеспечения высокоэффективного производства и качества изделий текстильной и легкой промышленности необходимо внедрять на предприятиях хлопкоочистительной промышленности новую технику и технологии, совершенствовать хлопкоочистительное оборудование и применять ресурсосберегающие передовые технологии, реконструировать и модернизировать предприятия отрасли.

В мировой практике проводятся комплексные и широкомасштабные научно-исследовательские работы по усовершенствованию техники и технологий первичной переработки хлопка. При этом приоритетное значение имеет разработка новых и прогрессивных методов упрочняюще-отделочной обработки деталей рабочих органов джинов и линтеров, в частности, колосниковых решеток рабочей камеры. Особое внимание уделяется обеспечению длительного сохранения технологического зазора путём повышения их долговечности и износостойкости.

В нашей республике осуществляются комплексные меры по развитию хлопково-текстильных кластеров, повышению рентабельности производства и переработки хлопка-сырца, обеспечению конкурентоспособности выпускаемой продукции на основе модернизации технологического оборудования и внедрения в производство современных достижений науки и техники в данной отрасли. Важные задачи поставлены в Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы, в том числе "...повышение конкурентоспособности национальной экономики, сокращение энерго- и ресурсопотребления в экономике, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство"<sup>2</sup>. При реализации этих задач важными считаются вопросы совершенствования оборудований и технологий первичной обработки хлопка, отделочно-упрочняющая обработка деталей рабочих органов хлопкоперерабатывающих машин поверхностно-пластическим деформированием, обеспечивающим высокую работоспособность в эксплуатационных условиях.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики

---

<sup>1</sup> International cotton advisory committee. Washington, From the Secretariat of the ICAC. <https://icac.org/emailsecretariat@icac.org>. September 1, 2019

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Узбекистан «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» от 2022 года, Указ от 28 января № УП-60, Постановление Кабинета Министров от 7 июля 2022 года № ПП-308 «О дополнительных организационных мерах по повышению урожайности хлопчатника, внедрению науки и инноваций в выращивание хлопчатника», постановление Кабинета Министров от 11 января 2023 года № 11 «О мерах по совершенствованию деятельности акционерного общества «Научный центр хлопковой промышленности»» и поставленных в других нормативно-правовых актах, касающихся данной деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям науки и технологии республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** В современном машиностроительном производстве актуальными остаются вопросы обоснования прогрессивных методов и режимов механической обработки, включая отделочно-упрочняющую, обеспечения качества поверхностного слоя ответственных деталей рабочих органов технологических машин с целью придания им высоких эксплуатационных свойств – износостойкости, усталостной прочности, долговечности. Данное научное направление нашло отражение в трудах зарубежных ученых и специалистов таких, как И.Дж.Армарего, Дж.Мартин, Х.Опитц, Е.М.Трент, В.Ф.Безъязычный, Б.А.Кравченко, И.В.Кудрявцев, Ю.Г.Кабалдин, А.Д.Макаров, А.А.Маталин, Д.Д.Папшев, С.В.Серенсен, В.К.Старков, А.М.Сулима, А.Г.Суслов, М.А.Тамаркин, Г.Фукс, С.Г.Хейфец и др.

Финишная обработка деталей рабочих органов хлопкоперерабатывающих машин, осуществляемая методами отделочно-упрочняющей обработки, способна обеспечить необходимые прочностные и эксплуатационные свойства. По совершенствованию и развитию этого научного направления значительный вклад внесли ученые: акад.Р.Г.Махкамов, М.Г.Хамов, А.П.Рогов, А.М.Ахмедов, И.Г.Шин, В.В.Ширяев, М.Р.Муминов, З.А.Шодмонкулов и др.

Однако, несмотря на достигнутые успехи в вопросах повышения надежности и работоспособности хлопкоперерабатывающих машин за счет технологического обеспечения качества поверхностного слоя, в настоящее время в недостаточной степени уделено внимание решению проблемных вопросов качественной подготовки колосниковой решетки рабочей камеры. От состояния колосниковой решетки зависит эффективность работы пильного барабана с дисками, проходящими через зазоры между колосниками в рабочей камере и осуществляющими свободный вынос волокна, оторванного от семян зубьями пильных дисков.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационная работа выполнена в рамках проекта АЛМ-20230622233 «Создание инновационной автоматизированной ресурсосберегающей, отечественной комплексной техники и технологии для хлопкозаводов» плана

научно-исследовательских работ акционерного общества «Пахтасаноат илмий маркази».

**Целью исследования** является технологическое обеспечение качества рабочих поверхностей колосников волокноотделительных машин и повышение их работоспособности за счет динамического поверхностного упрочнения в процессе дробеструйной обработки.

**Задачи исследований:**

обосновать и выявить технологические возможности одного из самых эффективных методов поверхностно-пластического деформирования – дробеударного упрочнения колосников рабочей камеры волокноотделительных машин, изготовленных из малопластичного конструкционного материала – серого чугуна (ферритового и феррито-перлитового);

выполнить аналитическое исследование теплообразования и напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя чугунных деталей, создаваемого нагрузкой в виде сосредоточенной силой;

установить взаимосвязь глубины деформационного упрочнения при дробеударной обработке с динамической твердостью по Мейеру обрабатываемого материала, кратностью соударения дроби и нормальной силы вдавливания;

обосновать рациональный технологический режим дробеструйной обработки микрошариками рабочих боковых поверхностей колосников для джина и линтера;

экспериментально исследовать физико-механическое состояние поверхностного слоя колосников после упрочнения дробью с помощью параметров качества обработанной поверхности – твердости, шероховатости поверхности, степени деформации;

доказать эффективность поверхностного упрочнения чугунных колосников волокноотделительных машин дробеструйной обработкой, произвести опытно-промышленную проверку и внедрение в производство колосников для джинов и линтеров, упрочненных поверхностно-пластическим деформированием в процессе дробеструйной обработки.

**Объектом исследования** является чугунные колосники рабочей камеры волокноотделительных машин.

**Предметом исследования** являются механика и теплофизика контактного взаимодействия при ударе дроби по металлической поверхности, напряженно-деформированное состояние при динамическом контакте, параметры качества поверхностного слоя при дробеударном упрочнении.

**Методы исследования.** В исследованиях использованы методы теоретической и прикладной механики, теория упругости и пластичности, гипотезы прочности и разрушения твердых тел, методы экспериментальной механики.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

впервые в практике машиностроительного производства применено механическое поверхностное упрочнение чугунных деталей на основе

обоснования способности структурных составляющих железоуглеродистых сплавов к упрочнению;

разработана аналитическая зависимость для определения глубины упрочнения при обработке микрошариками, учитывающая взаимосвязь динамической твёрдости материалов по Майеру и статической твёрдости по Бринеллю;

разработана расчетная модель напряженного состояния при динамическом упрочнении дробью малопластичного серого чугуна;

установлено, что линейный износ упрочненных колосников джинов и линтеров меньше, чем неупрочненных, соответственно 1.7 и 2.2 раз, что существенно меньше поля допуска на технологический зазор между колосниками.

### **Практические результаты исследования состоят в следующем:**

доказана на основе комплексных теоретико-экспериментальных исследований эффективность обработки рабочих поверхностей малопластичных чугунных колосников волокноотделительных машин (джинов и линтеров) микрошариками в потоке с сжатым воздухом и реализуемого на серийно выпускаемых промышленных пескоструйных аппаратах, а также на оборудовании заводского изготовления вспомогательных цехов;

рекомендованы режимы и условия дробеструйной обработки микрошариками рабочих поверхностей колосников, обеспечивающие достаточную степень поверхностной деформации  $\Psi=0,231\dots0,33$  при твердости обрабатываемого материала HB180 и скорости удара  $v=20\dots40$  м/с с диаметром микрошариков  $D=0,3\dots0,4$  мм;

достигнуто длительное сохранение технологического межколосникового зазора за счет обеспечения износостойкости рабочей части колосников, превышающей в 1,7 раз по сравнению с неупрочненными колосниками, что способствует качественному волокноотделению в процессах джинирования и линтерования;

поверхностное механическое упрочнение дробеструйной обработкой колосников обеспечивает повышение твердости поверхностного слоя деталей и соответственно износостойкости без термической обработки и без затрат легирующих элементов.

**Достоверность полученных результатов** исследований подтверждается обоснованным выбором физических и математических моделей для описания контактного взаимодействия ударяющейся дроби с металлической поверхностью при дробеструйной обработке, соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами опытно-промышленных проверок и внедрения в производство колосников рабочей камеры джинов и линтеров после их поверхностного упрочнения в процессе дробеструйной обработки.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов диссертационной работы состоит в том, что показана возможность механического поверхностного упрочнения

малопластичного конструкционного материала – серого чугуна марки СЧ15, применяемого для изготовления колосников рабочей камеры волокноотделительных машин.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в обосновании и доказательстве эффективности дробеструйной обработки микрошариками рабочих участков чугунных колосников, выраженной в повышении работоспособности колосников и, как следствие, длительного сохранения технологического зазора между ними.

**Внедрение результатов исследования.** На основании научных результатов, полученных при выполнении исследовательской работы по дробеструйной обработке колосников для джинов и линтеров:

внедрены чугунные колосники с упрочненной рабочей поверхностью в джинно-линтерном цехе УП “Real Agrop Cotton” Юкоричирчикского филиала Ташкентской области (справка № 03/25-1078 от 21 мая 2024 года ассоциации “Узтекстильпром”). В результате внедрения повысилась эксплуатационная надежность волокноотделительных машин за счет увеличения износостойкости чугунных колосников в 1,7 и 2,2 раз соответственно джинов и линтеров, упрочненной поверхностной обработкой микрошариками и доказана возможность механического упрочнения малопластичного конструкционного материала с низкой пластичностью.

**Апробация результатов исследований.** Результаты исследований по диссертационной работе обсуждены на 13 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 22 научных трудов, в том числе 5 статей в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 122 страниц.

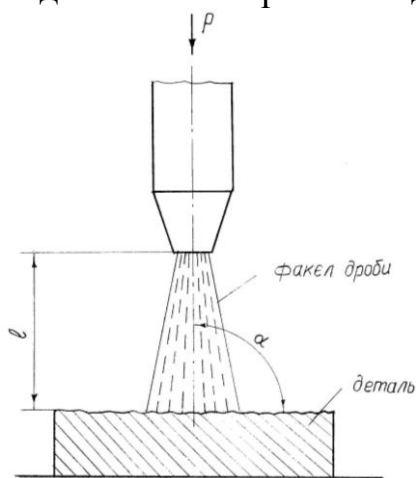
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность работы и востребованность проведенных исследований, поставлена цель и сформулированы задачи исследований, определены объект и предмет исследований, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, даны элементы научной новизны, внедрение в производство результатов исследований, сведения по апробации, опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ технологических методов повышения работоспособности деталей рабочих органов волокноотделительных машин»** рассмотрены основные технологические требования к колосникам одноименной решетки волокноотделительных машин и критерий их работоспособности. Приведены результаты литературного обзора по упрочняющим технологиям чугунных деталей, зависящим от их

исходной микроструктуры. Выполнено научное обоснование механического метода упрочнения чугунных колосников, основанного на поверхностно-пластическом деформировании малопластичного материала и реализуемого в процессе дробеударной обработки микрошариками в потоке с сжатым воздухом. Рассмотрены параметры, характеризующие физико-механическое состояние и качество поверхностного слоя при дробеударной обработке, относящейся к отделочно-упрочняющей обработке ответственных деталей рабочих органов технологических машин с целью обеспечения повышенной долговечности и эксплуатационной надежности оборудования.

Вторая глава диссертации «**Механика контактного взаимодействия при динамическом поверхностно-пластическом деформировании микрошариками чугунных колосников**» посвящена аналитическому исследованию напряженно-деформированного состояния при дробеударной обработке микрошариками рабочих поверхностей колосников волоконотделительных машин (джинов и линтеров).



**Рис.1. Схема обработки для упрочнения металлических поверхностей потоком дробы, направляемым под давлением  $p$  сжатого воздуха при угле атаки  $\alpha$  с расстояния  $l$  до детали**

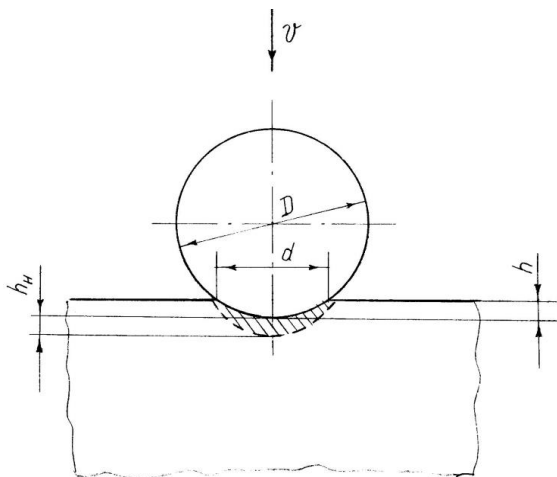
Дробеударная обработка, производимая с целью деформационного упрочнения рабочих поверхностей ответственных деталей машин, характеризуется многочисленными и одновременными ударами микрошариков диаметрами  $d=0,3-0,4$  мм по обрабатываемой поверхности с различными углами атаки  $\alpha$  (рис.1).

Интенсивность деформационного процесса при этом зависит от многих факторов различной природы и, прежде всего, от физико-механических свойств обрабатываемого материала и рабочего тела, размера (массы) и скорости удара части,

угла атаки, концентрации потока, времени обработки. Так как каждая дробь (микрошарик) осуществляет упруго-пластическое деформирование, то концентрированный поток рабочих тел создает полидеформационный характер контактного взаимодействия, усложняя самым его анализ. Поэтому необходима схематизация дробеударного упрочнения, основанная на следующих допущениях:

1. Из концентрированной струи микрошариков выделяем один и считаем, что он ударяется со средней скоростью потока  $v$  под прямым углом ( $\alpha = 90^\circ$ ) о поверхность упрочняемой детали.
2. Деформационный процесс при силовом контакте моделируем одноактным соударением абсолютно жесткой твердой сферической частицы (дробы) с низкой шероховатостью, высокой точностью по геометрии и твердостью HRC62.

3. Обрабатываемый материал принимаем однородным и изотропным, а деформируемое тело представляем упругим полупространством (плоской поверхностью), что позволяет применить основные положения теории упругости и пластичности. Последнее допущение базируется на том факте, что размеры пластического отпечатка (лунки) существенно меньше, чем размеры тела ( $d \ll D$ ) (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема упругопластического взаимодействия дроби диаметром  $D$  с металлической поверхностью при ударе со скоростью  $v$ :  $d$  и  $h$  – соответственно диаметр и глубина пластического отпечатка;  $h_n$  – глубина наклепа

$D$  – диаметр шара, мм.

Расчеты показали, что для пары «сталь-чугун» приведенный модуль упругости  $E'_{пр} = 0,87898 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>. Для пары «сталь-сталь»  $E''_{пр} = 1,0994 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>. Таким образом, для первой пары материалов, приведенный модуль упругости  $E'_{пр}$  составляет 0,8 от  $E''_{пр}$ , т.е.  $E'_{пр} : E''_{пр} = 0,8$ . Следовательно, при постоянном значении диаметра шарика  $D$  для создания одинакового диаметра  $d$  упругого отпечатка сила  $P_1$  в контактной зоне чугуна окажется меньше и составит  $0,8P_2$  при вдавливании в стальной материал, где  $P_2$  – сила вдавливания в сталь. Такое уменьшение упругих свойств чугуна по сравнению с сталью должно отразиться и на пластических свойствах, которые большей частью инициированы наличием в структуре чугуна графитовых включений – локальных микроучастков с пониженной механической плотностью.

Изучены основные параметры очага деформирования при дробеударной обработке. Так, в результате модификации известной формулы М.М.Саверина для расчета степени поверхностной деформации  $\Psi$  получена зависимость (2), учитывающая как механические свойства контактирующих тел, так и режим обработки:

$$\psi = 1,14 \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot v^2}{g \cdot HB}} \quad (2)$$

Пользуясь зависимостью Герца (1), дана сравнительная количественная оценка упругих свойств пары материалов «сталь-сталь» и «сталь-чугун» через физические постоянные – модуль упругости  $E$  и коэффициент поперечной деформации  $\mu$  (коэффициент Пуассона), выразив их через приведенный модуль упругости:

$$P = \frac{d^3}{3D \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_0^2}{E_0} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_{пр}} = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_0^2}{E_0}$$

где  $E_1$ ,  $\mu_1$  и  $E_0$ ,  $\mu_0$  – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материалов индентора и преграды;

где  $\rho$  – плотность материала дроби, для стали  $\rho=7,85 \text{ г/см}^3$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

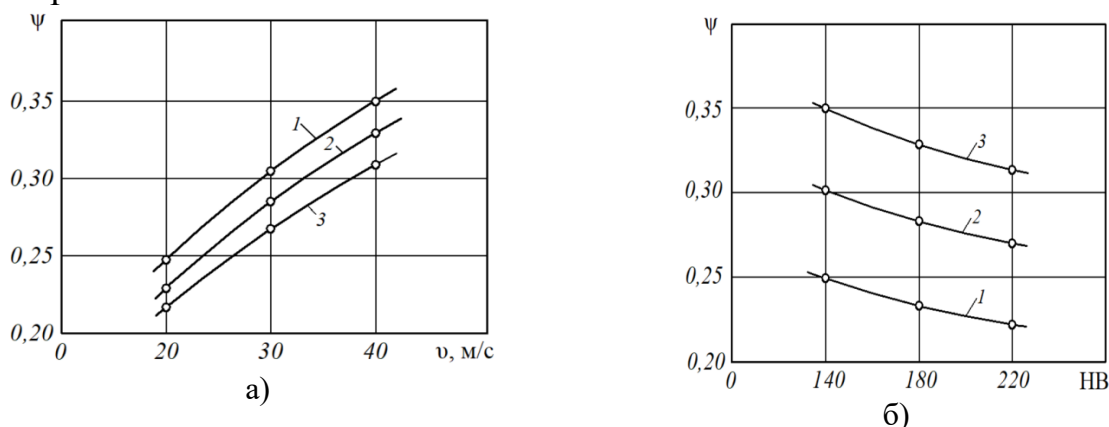
$v$  – скорость удара, м/с

НВ – твердость по Бринеллю обрабатываемого материала.

В формуле (2) предусмотрено, что показатель динамического упрочнения принят равным 2 и динамическая твердость связана с статической твердостью соотношением  $H_d=1,6HВ$ , справедливым для металлов и сплавов с НВ300.

Оценка степени поверхностной деформации  $\Psi$  выполнена с учетом того, что серые чугуны, из которых изготавливают колосники, имеют ферритовую и феррито-перлитовую структуру с твердостью НВ 140...220. Из-за менее выраженных пластических свойств чугуна по сравнению с сталью скорость удара микрошариков должна быть уменьшена и принята из диапазона значений  $v=20...40 \text{ м/с}$ .

Графическая интерпретация расчетных данных степени поверхностной деформации  $\Psi$  позволяет выявить некоторые закономерности их изменения от твердости НВ обрабатываемого материала и скорости удара  $v$  дроби (рис.3). Так, с увеличением скорости удара  $v$  степень поверхностной деформации  $\Psi$  закономерно возрастает по нелинейной зависимости вследствие увеличения кинетической энергии удара. При возрастании скорости удара  $v$  от 20 до 40 м/с степени поверхностной деформации  $\Psi$  увеличивается от 0,221 до 0,313, т.е. на 42% при НВ220.



**Рис. 3. Зависимости степени поверхностной деформации**

**$\Psi$  от скорости удара  $v$  (а) при различной твердости (1-НВ140; 2- НВ180; 3- НВ220) и от твердости обрабатываемого материала (б) при различной скорости удара (1-  $v=20 \text{ м/с}$ ; 2-  $30 \text{ м/с}$ ; 3-  $40 \text{ м/с}$ )**

Менее интенсивно влияет на изменение степени поверхностной деформации  $\Psi$  твердость НВ обрабатываемого материала. При увеличении твердости НВ от 140 до 220 величины  $\Psi$  уменьшается в среднем на 12%.

Так как степень поверхностной деформации представляет собой отношение  $d/D$ , то в соответствии с зависимостью (2) можно записать выражение для радиуса пластического отпечатка  $a=d/2$ :

$$a = 1,14 R^4 \sqrt{\frac{\rho}{g} \cdot \frac{v^2}{HВ}}, \text{ мм} \quad (3)$$

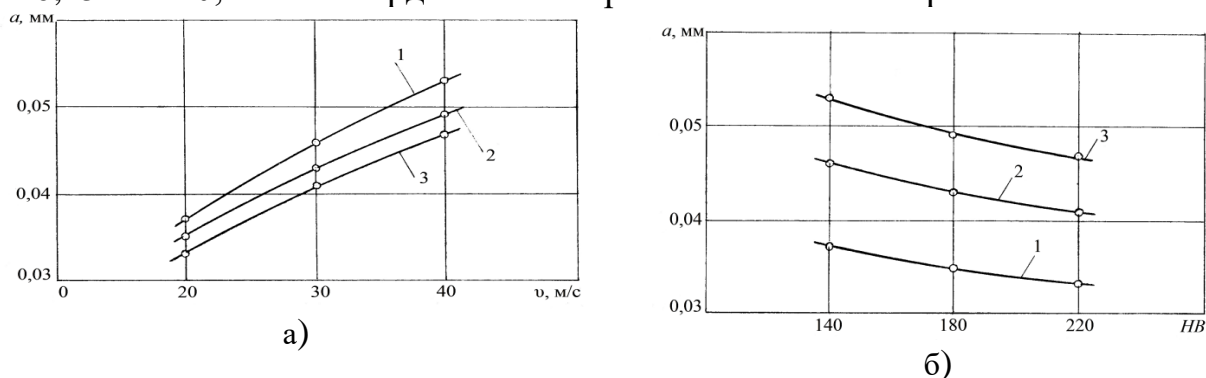
где  $R=D/2$  – радиус дроби, мм.

Радиус пластического отпечатка обычно используют для расчета соответствующей статической силы. При дробеударной обработке в результате многократного динамического воздействия радиус пластического отпечатка увеличивается до определенной величины, а потом практически остается постоянным. Поэтому в формулу (3) введен коэффициент  $\varphi$ , учитывающий увеличение радиуса отпечатка при многократном воздействии

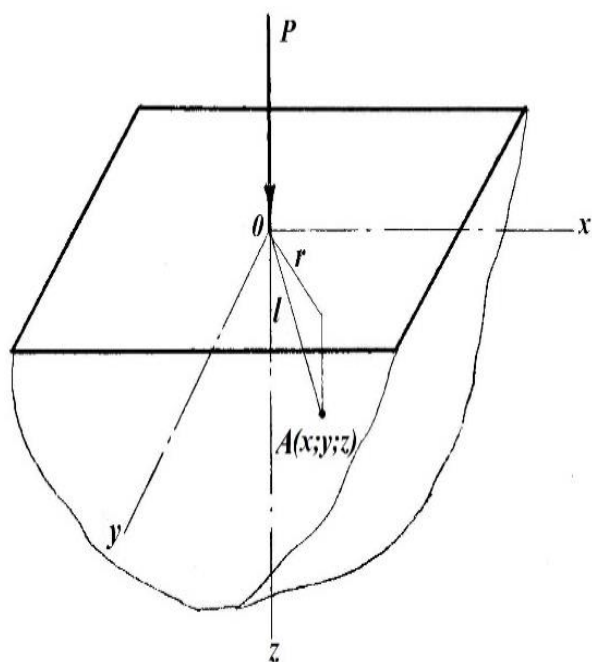
$$a = 1,14 \varphi R \sqrt[4]{\frac{\rho}{g} \cdot \frac{v^2}{HB}}, \text{ мм} \quad (3,а)$$

где  $\varphi = 1,3 \dots 1,5$  – коэффициент увеличения диаметра отпечатка.

На рис.4 представлены зависимости расчетных значений радиуса пластического отпечатка от скорости удара микрошариков с радиусами  $R=0,15$  мм и  $0,2$  мм и твердости HB обрабатываемого материала.



**Рис.4. Зависимости радиуса пластического отпечатка  $a$  от скорости удара  $v$  (а) при различной твердости HB (1- 140; 2- 1801; 3- 220) и от твердости обрабатываемого материала (б) при различной скорости удара (1-  $v=20$  м/с; 2-  $v=30$  м/с; 3-  $v=40$  м/с). Радиус микрошарика  $R=0,15$  мм (а) и  $R=0,20$  мм (б)**



**Рис. 5. Расчетная схема для напряженного состояния, создаваемого нормальной сосредоточенной силой  $P$ , приложенной на границе полубесконечного пространства**

Исследовано напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя при дробеударной обработке деталей из малопластичных материалов, приняв нагрузку в виде сосредоточенной силы  $P$ . В расчетной схеме (рис.5) плоскость  $z=0$  является границей полубесконечного пространства (тела) и сосредоточенная сжимающая сила  $P$  направлена вдоль оси  $Z$ .

Компоненты напряжений для данного напряженного состояния определяются по формулам

$$\sigma_z = -\frac{3}{2} \frac{P}{\pi} \frac{z^3}{l^5};$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2\pi} \left[ \frac{1-2\mu}{l(l+z)} - \frac{3zr^2}{l^5} \right]; \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta} = -\frac{P}{2\pi}(1-2\mu)\left[\frac{z}{l^3} - \frac{1}{l(l+z)}\right];$$

$$\tau_{rz} = -\frac{3P}{2\pi} \frac{z^2 r}{l^5}$$

где  $u_z$ ,  $u_r$ ,  $u_{\theta}$  – соответственно осевое, радиальное и окружное нормальное напряжения;

Анализ напряженного состояния обычно выполняется для точек слоя, параллельного обрабатываемой поверхности, в которых интенсивность нормальных напряжений максимальная  $\sigma_i^{\max}$ , так как по теории пластичности именно интенсивность напряжений принимается эквивалентной пределу текучести обрабатываемого материала. При действии сосредоточенной нагрузки  $P$ , нормальной к плоскости нагружения, такие точки находятся на оси  $z$ , совпадающей с направлением действия сосредоточенной силы. В таком случае нагружение является осесимметричным и компоненты напряжений для точек, лежащих на оси  $z$ , могут быть определены по формулам:

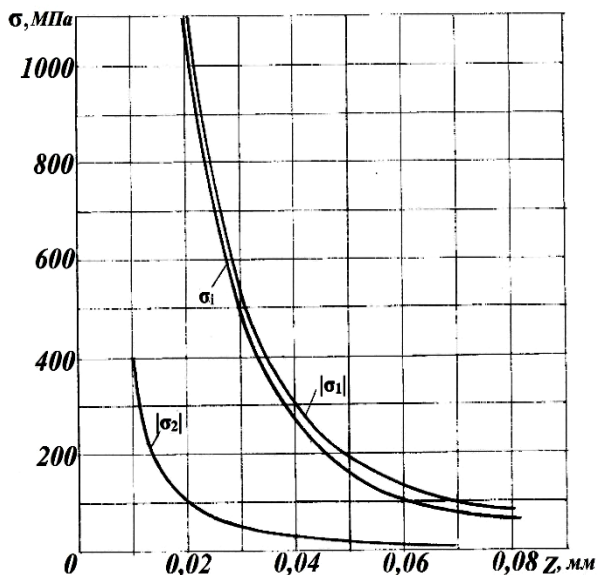
$$\sigma_z = -\frac{P}{2\pi} \frac{3}{z^2}; \quad \sigma_x = \sigma_y = -\frac{P}{2\pi} \left( \frac{1-2\mu}{2z^2} \right) \quad (5)$$

Эти три компоненты нормальных напряжений (5) являются главными, так как касательные напряжения для точек, лежащих на оси  $z$ , равны нулю и поэтому справедливы равенства:

$$\sigma_1 = \sigma_z; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_x = \sigma_y \quad (6)$$

Так как выражение для интенсивности напряжений  $\sigma_i$  в общем случае объемного напряженного состояния определяется по зависимости

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (7)$$



**Рис.6.** Зависимости главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и интенсивности напряжений  $\sigma_i$  по глубине поверхностного слоя  $z$  для единичной точечной силы  $P=1Н$ , приложенной на границе полубесконечного пространства

то для рассматриваемого случая нагружения, когда  $\sigma_2 = \sigma_3$ , интенсивность напряжений равна  $\sigma_i = |\sigma_1 - \sigma_2|$ . Поэтому с учетом выражений (6) и (7) после преобразований интенсивность напряжений под действием сосредоточенной силы составит

$$\sigma_i = \frac{P}{2\pi z^2} \left( 3 - \frac{1-2\mu}{2} \right). \quad (8)$$

где  $P$  – единичная сосредоточенная сила, т.е. нагрузка, приходящаяся на единицу толщины пластины.

Расчет нормальных напряжений по формулам (5), (6) и (8) выполнен для малопластичного конструкционного материала – серого

чугуна со следующими механическими свойствами: коэффициент поперечной деформации  $\mu=0,23\dots0,27$ ; модуль упругости  $E=(0,15\dots1,60)\cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>.

На рис.6 показаны зависимости расчетных значений главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , а также интенсивности напряжений  $\sigma_i$  по глубине поверхностного слоя  $z$  при действии сосредоточенной силы  $P$ . Выявлена закономерность резкого уменьшения напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_i$  по глубине поверхностного слоя: значения этих напряжений уменьшаются в 9 раз при переходе с глубины  $z=0,02$  до  $0,06$  мм и составляют, например, для  $\sigma_i$  соответственно 1095 МПа и 122 МПа.

Для расчета потери энергии при ударе целесообразно использовать теорию упругого контакта Герца, в соответствии с которой приняты следующие допущения: поверхности тел гладкие; деформации малы; тела рассматриваются как упругое полупространство; трение отсутствует, удар прямой (угол атаки  $\alpha=90^0$ ).

Значение коэффициента относительных потерь энергии при ударе  $\xi$  определяется соотношением

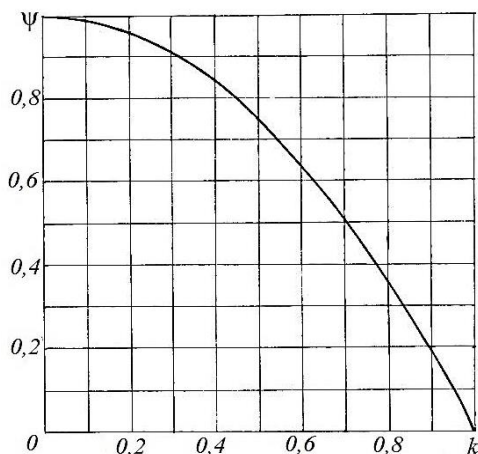
$$\xi = \frac{\Delta W}{W_0} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} = 1 - \frac{W_1}{W_0} = 1 - \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2, \quad (9)$$

где  $W_1$  – кинетическая энергия дроби после соударения;

$W_0$  – начальная кинетическая энергия дроби;

$W$  – разность кинетической энергии дроби;

$v_0, v_1$  – соответственно начальная и конечная (после соударения) скорости частицы.



**Рис. 7. Параболическая зависимость коэффициента потерь энергии  $\psi$  от коэффициента восстановления при ударе  $k$  ( $0 \leq k \leq 1$ )**

Так как коэффициент восстановления скорости при ударе определяется как  $k = |v_0|/|v_1|$ , то формула (10) принимает вид

$$\xi = (1 - k^2) \quad (10)$$

На рис.7 дана параболическая зависимость коэффициента потерь энергии  $\xi$  от коэффициента восстановления скорости  $k$  при ударе. Установлено интенсивное уменьшение коэффициента  $\xi$  при увеличении значения  $k$ : при возрастании  $k$  от 0,2 до 0,8 (в 4 раза) коэффициент потерь энергии при ударе уменьшается в 2,67 раз.

Выполнен расчет коэффициента восстановления при ударе по зависимости

$$k = 1,63 \sqrt{HB^{1,25} / (\rho^{0,25} v_0^{0,5} E_{np})}, \quad (11)$$

удобной для практического применения, так как масса дроби, входящая в ее кинетическую энергию, представлена через плотность  $\rho$  и объем  $V$ . В формуле  $E_{np}$  – приведенный модуль упругости, определяемый по зависимости

Обрабатываемый (упрочняемый) материал – серый чугун; модуль упругости  $E_2=(1,15-1,60) \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>, принимаем  $E_2=1,375 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu_2=0,23-0,27$ , принимаем  $\mu_2=0,25$ . Твердость ферритных и феррито-перлитовых чугунов (СЧ15) составляет НВ143-229, принимаем НВ229.

При приведенных данных  $E_{пр}=1,12 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>, скорости полета дроби  $v_0=20$  м/с, выбранный из диапазона значений  $v_0=20-40$  м/с, коэффициент восстановления скорости  $k$  при ударе составил 0,224, что соответствует коэффициенту потерь энергии  $\xi=0,95$ .

В соответствии с известным фундаментальным решением дифференциального уравнения теплопроводности температуры  $\Theta$ , в любой точке твердого тела с известными теплофизическими характеристиками при действии точечного мгновенного источника теплоты зависит:

- 1) от количества теплоты  $Q$  (Дж), внесенное этим источником;
- 2) расстояния  $R$  (м) от источника до данной точки; 3) времени  $t$  (с), прошедшего от момента импульса до момента наблюдения и определяется по формуле

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{Q}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi t)^{\frac{3}{2}}} \exp\left[-\frac{R}{4\omega t}\right], \quad (12)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$Q$ - теплота, выделившаяся при ударе дроби, Дж;

$\omega = \lambda / (c\rho)$  - коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$c\rho$  - объемная теплоемкость, Дж/ (м<sup>3</sup>·°С);

$R = \sqrt{(x_u - x)^2 + (y_u - y)^2 + (z_u - z)^2}$  - расстояние от источника теплоты до рассматриваемой точки с координатами  $x, y, z$ , м;

$\exp\left[-\frac{R^2}{4\omega t}\right]$  - экспоненциальная функция.

Разработан алгоритм расчета контактной температуры при дробеударном упрочнении чугунных деталей стальной литой дробью, в соответствии с которым, например, температура точки на глубине поверхностного слоя  $R=z=0,01$  мм составит

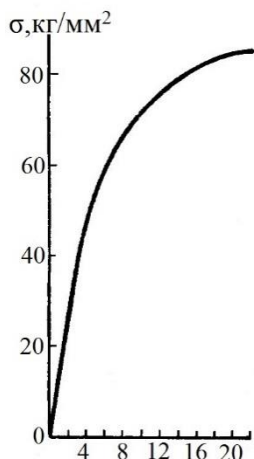
$$\begin{aligned} \theta &= \frac{Q_m}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi t)^{3/2}} \exp\left[-\frac{R^2}{4\omega t}\right] = \frac{28,26 \cdot 10^{-6}}{0,586 \sqrt{0,113 (4 \cdot 3,14 \cdot 0,0077 \cdot 10^{-4})^{3/2}}} \exp\left[-\frac{0,01^2}{4 \cdot 0,113 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0077^{-4}}\right] = \\ &= \frac{28,26 \cdot 10^{-6}}{0,00591 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,0568 = 272 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Меньшие значения температур при дробеударной обработке серого чугуна вызваны большей теплопроводностью по сравнению с стальными изделиями и, что самое главное, не снижается эффект наклепа тонких слоев за счет пластического деформирования и не вызывает смещение зоны максимального значения микротвердости в подповерхностный слой.

В третьей главе диссертации «Теоретико-экспериментальное исследование качества поверхности колосников при динамическом упрочнении микрошариками» изучены особенности деформирования и разрушения малопластичного конструкционного материала для колосников –

серого чугуна, установлена взаимосвязь глубины деформационного упрочнения при дробеударной обработке с твердостью материала детали и нормальной силы вдавливания. Представлены методика и результаты экспериментального определения твердости и шероховатости рабочих поверхностей чугунных колосников.

Выполнен анализ особенностей деформирования серого чугуна и диаграммы напряжений при растяжении и сжатии. Выявлено, что закон Гука



**Рис. 8.** Диаграмма напряжений при сжатии чугуна

наблюдается для чугунов приблизительно до относительной деформации, равной  $\epsilon=3\%$  и далее имеет место уже нелинейная зависимость

Глубина наклепа  $h_n$  или деформационного упрочнения при отделочно-упрочняющей обработке, как глубина распространения пластических деформаций, большинством исследователей определяется по известной формуле С.Г.Хейфеца

$$h_n = \sqrt{P / (2\sigma_T)}, \text{ мм} \quad (13)$$

где  $P$  — нормальная сила деформирования (сила вдавливания), Н;

$\sigma_T$  — предел текучести физический обрабатываемого материала, Н/мм<sup>2</sup>.

С учетом того, что для большой группы конструкционных сталей с погрешностью  $\pm 15\%$  можно принять  $\sigma_T \approx HB/6$  и, основываясь на сущности определения твердости по Бринеллю  $HB$  и Мейеру (динамическая твердость по Мейеру  $HM$ ) получена следующая зависимость для глубины наклепа

$$h_n = 1,535 d \sqrt{\frac{HM}{HB}}, \text{ мм} \quad (14)$$

где  $d$  — диаметр лунки (пластического отпечатка), мм.

В зависимости от степени наклепа отношение  $HM/HB$  находится в пределах  $1 \leq \sqrt{HM / HB} \leq 1,035$  при умеренной степени наклепа. Так как после 10...12 ударов для сталей увеличение диаметра пластического отпечатка  $d$  практически прекращается и достигает значения  $d=(1,25...1,35)d_1$  ( $d_1$  — диаметр пластического отпечатка после первого удара), то глубину наклепа при дробеударном упрочнении можно привести к окончательному виду:

$$h_n = (2,34...3,10)d_1, \text{ мм} \quad (15)$$

Расчетное значение глубины наклепа по формуле (15) составляет  $h_n = 0,1548...0,2051$  мм при степени поверхностной деформации  $\psi=0,2205$  для дробеударного упрочнения со скоростью  $v=20$  м/с, дробью  $D=0,3$  мм при твердости чугуна  $HB220$ . Полученные значения глубины наклепа отличаются от экспериментальных на 9...14%, что делает приемлемым для практического использования зависимости.

Аналитическую оценку силы вдавливания  $P$  при ударе можно произвести также, рассматривая физическую сторону процесса соударения жесткого недеформируемого сферического индентора с более мягкой металлической

преградой (рис.2), описываемого уравнением движения сферы в обрабатываемой среде:

$$P = \pi p_0 r^2 \approx 2\pi p_0 R h = -m \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (16)$$

которое приводится к дифференциальному уравнению

$$\frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{\pi D \sigma_{\tau}}{m} \cdot h = 0,$$

имеющему решение в виде

$$h = v_0 \sqrt{\frac{m}{\pi D \sigma_{\tau}}} \sin \left( \sqrt{\frac{\pi D \sigma_{\tau}}{m}} \cdot t \right), \text{ мм}$$

где  $r=d/2$  - радиус пластического отпечатка;

$m, R$  – соответственно масса и радиус сферы;

$h$  – глубина внедрения сферического индентора;

$p_0$  – давление текучести, предполагаемое постоянным и принимаемым как предел текучести обрабатываемого материала ( $p_0 = \sigma_{\tau}$ ).

Таким образом, сила вдавливания, соответствующая максимальной глубине внедрения сферы в обрабатываемую поверхность, составит

$$P = \pi D^2 v_0 \sqrt{\frac{\sigma_{\tau} \rho}{6}}, \text{ Н} \quad (17)$$



**Рис. 9. Измерительно-регистрирующий блок прибора-твердомера HRS-300E**



**Рис. 10. Регистрация начала нагружения (измерения) с автоматической записью диаграммы “нагрузка-время”**



**Рис. 11. Регистрация окончания нагружения (измерения) с автоматической записью диаграммы “нагрузка-время”**

В табл.1 представлены результаты экспериментов по определению твердости НВ чугуновых колосников для джинов и линтеров, соответствующих среднему значению из трех измерений в локальной области (рис. 10; рис. 11).

Таблица 1

Результаты измерения твердости по Бринеллю чугунных колосников из СЧ15 после эксплуатации

№ п.п	Сведения по колосникам	Колосники для джина		Колосники для линтера	
		в нерабочей зоне	в рабочей зоне	в нерабочей зоне	в рабочей зоне
1	Неупрочненные (Россия)	325,7	215,1	208,4	190,3
2	Упрочненные (Россия)	322,8	216,3	206,8	198,5
3	Упрочненные (Китай)	216,8	208,2	233,0	213,1

Меньшие значения твердости в рабочей зоне неупрочненных колосников российского производства можно объяснить структурной неоднородностью серых чугунов и в беспорядочном расположении графитовых включений, имеющих существенно меньшую твердость, чем металлическая основа сплава.



Рис. 12. Прибор для измерения шероховатости поверхностей колосников (параметры  $R_a$  и  $R_z$ )

С целью установления высотных параметров шероховатости ( $R_z$ ,  $R_a$ ) чугунных колосников, а также их трансформации в период эксплуатации машин были проведены экспериментальные исследования. Для измерения параметров шероховатости

поверхности был использован прибор TIME3200 (рис.12), работающий по щуповому (контактному) методу. Данный метод является основным вариантом профильного метода измерения неровностей поверхности.

Таблица 2

Высотные параметры шероховатости поверхности  $R_a$ ,  $R_z$  (мкм), измеренные на чугунных колосниках для джинов и линтеров

№ п.п	Сведения по колосникам	Колосники для джина				Колосники для линтера			
		в рабочей зоне		в нерабочей зоне		в рабочей зоне		в нерабочей зоне	
		$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$
1	Неупрочненные (Россия)	0,429	3,019	0,908	5,355	1,731	12,49	0,592	3,972
2	Упрочненные (Россия)	0,511	3,083	1,370	8,652	0,186	2,211	1,298	5,907
3	Упрочненные (Китай)	0,793	4,875	0,524	3,299	0,764	5,868	1,350	8,723

В табл.2 даны результаты измерения шероховатости поверхности в рабочей и нерабочей зонах колосников для джинов и линтеров после длительной эксплуатации, соответствующей средним значениями из трех измерений. Анализ экспериментальных данных показывает, что после

дробеударного упрочнения колосников джина микрошариками параметр  $R_a$  вырастает с 0,908 до 1,370 мкм, а для колосников линтера – с 0,592 до 1,298 мкм. Соответствующим образом вырастает и параметр  $R_z$ : для колосников джина с 5,355 до 8,652 мкм и линтера – с 3,972 до 5,907 мкм. Полученные результаты не противоречат литературным данным, когда сравнительно низкий параметр шероховатости ( $R_a=1,25...0,16$  мкм) поверхности сохраняется или немного возрастает (как в нашем случае), высокий ( $R_a=10...1,5$  мкм) может снижаться до  $R_a=2,5...1,25$  мкм.

Установлено, что исходная шероховатость поверхности, выраженная высотным параметром  $R_a$  для колосников джина соответствует требуемому диапазону значений 0,63...0,32 мкм, так как  $R_a=0,429$  мкм, для колосников линтера  $R_a=1,731$  мкм, что несколько превосходит рекомендуемый диапазон значений  $R_a=1,25...0,63$  мкм.

В четвертой главе «**Промышленные испытания упрочненных чугуных колосников на износостойкость и внедрение результатов исследований в производство**» даны методика проведения сравнительных экспериментальных исследований износостойкости упрочненных чугуных колосников в условиях хлопкоочистительного завода, прогнозная оценка износостойкости упрочненных колосников и обоснование критерия их износа, экономический расчет эффективности упрочнения чугуных колосников дробеударной обработкой микрошариками.

Промышленные испытания упрочненных чугуных колосников были приведены в джинно-линтерном цехе (рис.13) УП «Real Agto Cotton» Юкоричирчикского филиала Ташкентского вилоята. Экспериментальные (упрочненные) и заводские колосники работали в одинаковых условиях при установке на одну машину по 5 штук в комплекте (рис.14). Колосники были установлены на пильном джине ДП-90 и линтере 5ЛП.



**Рис. 13. Линтер 5ЛП с контрольными колосниками для испытаний на износостойкость**



**Рис. 14. Контрольные колосники джина для испытания на износостойкость**

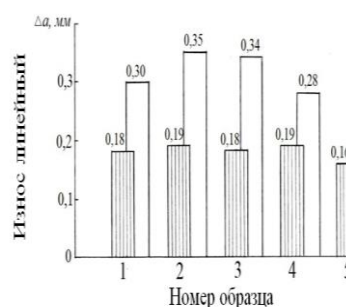
Испытания проводили на хлопке-сырце урожая 2022 года селекции «Султон», «Наманган-77», сорт 1, 2 и 3 ручного сбора, засоренность в пределах от 3 до 12-14%, влажность от 6-7 до 20-22%.

Экспериментальные исследования при дробеударной обработке микрошариками боковых поверхностей рабочей зоны колосников были проведены на пескоструйном аппарате (рис.15), изготовленным и эксплуатирующимся в условиях Ташкентского механического завода.

В экспериментах была использована стальная литая дробь (ДСЛ) из низкоуглеродистой стали в соответствии с ГОСТ 11964-81Е, подвергнутой закалке при температуре 860-900<sup>0</sup>С с последующим низкотемпературным отпуском при 180-220<sup>0</sup>С в течение 1,5-2 ч. Данная дробь имеет твердость HV365-545, прочность при испытании на сжатие статической нагрузкой – не менее 6000 Н, изготавливается размерами 0,3-2,2 мм, что соответствует номеру дроби.



**Рис. 15. Пескоструйный аппарат для дробеударной обработки микрошариками чугуных колосников**



**Рис. 16. Диаграммы линейного износа  $\Delta a$  чугуных колосников джина в рабочей зоне за контрольное время испытаний:**  
 ▨▨▨▨ - после ударного деформационного упрочнения микрошариками;  
 □□□□ - без обработки

Режим и условия дробеударной обработки микрошариками: давление сжатого воздуха  $p=3...4$  атм (0,3...0,4 МПа), диаметр рабочего тела  $D=0,3...0,4$  мм, угол атаки  $\alpha=90^\circ$ , расстояние до обрабатываемой поверхности  $l=15...20$  см. В соответствии с методикой и планом проведения экспериментов в производственных условиях контрольные колосники после непрерывной и длительной эксплуатации в течение 105 рабочих дней (в период с 01.04.23 по 02.08.23гг.) были подвергнуты тщательному визуальному осмотру с дальнейшим замером стандартным микрометром ширины колосников в рабочей зоне по специально обозначенным меткам.

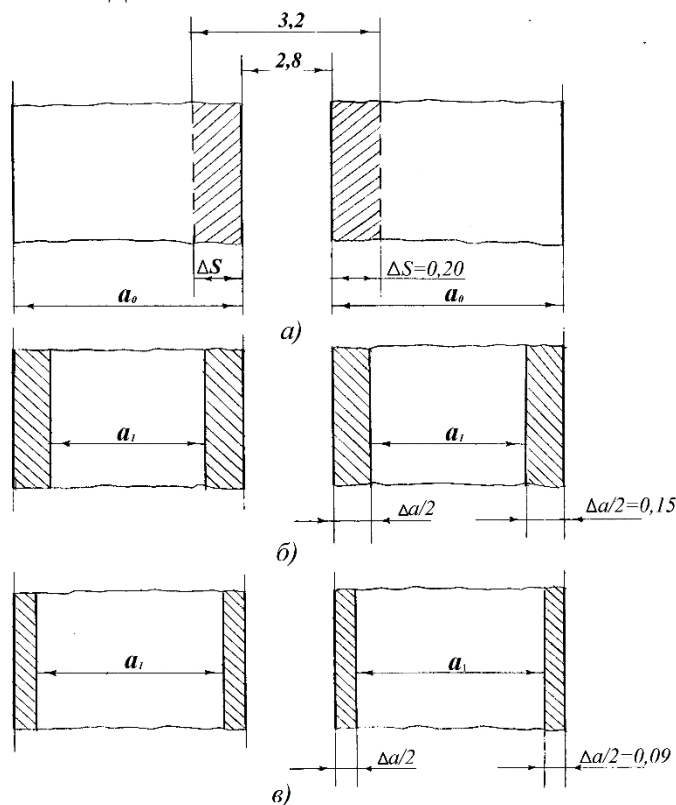
Зная исходную ширину колосника  $a_0$  (до опыта) и после эксплуатации  $a_1$ , были определены значения линейных износов  $\Delta a$  колосников в рабочей зоне как средние из трех измерений. Установлено, что среднее значение абсолютного линейного износа  $\Delta a$  чугуных колосников с упрочненной поверхностью в 1,7 раз меньше, чем у колосника без обработки ( $\Delta a = 0,304$ ) и составил 0,176 мм (рис.16)

Производственные испытания чугуных колосников для линтеров также показали преимущество по износостойкости упрочненных микрошариками колосников по сравнению без обработки. За тот же период эксплуатации износ упрочненных колосников в среднем составил  $\Delta a = 0,14$  мм, а неупрочненных – 0,31 мм, т.е износостойкость превосходит в 2,2 раза.

Получены уравнения развития изнашивания и соответствующие зависимости износа от времени эксплуатации упрочненных и неупрочненных колосников для джина:

$$\Delta a_1 = \sqrt{\frac{t}{3389,7}}, \text{ мм}; \quad \Delta a_2 = \sqrt{\frac{t}{1136,2}}, \text{ мм}; \quad (18)$$

Из уравнения развития изнашивания  $t=f(\Delta a)$  и следующего из него уравнения износа можно обосновать критериальную оценку предельного износа и долговечности колосников.



**Рис. 17. Сравнение результатов износа колосников с технологическим зазором между ними:**

- а) поле допуска  $\Delta S$  на технологический зазор;
- б) износ колосников  $\Delta a = a_0 - a_1$  джина без обработки рабочих поверхностей за контрольное время испытаний; в) износ упрочненных колосников  $\Delta a = a_0 - a_1$  джина за контрольное время испытаний

Высокая износостойкость упрочненных чугуновых колосников позволяет длительное время сохранять рекомендуемый технологический зазор между колосниками в волокноотделительных машинах. Исходя из значения технологического зазора  $S$ , определяемого как разность предельных величин  $3 \pm 0,2$  мм и составляющего  $\Delta S = 0,4$  мм, предложено величину износа  $\Delta a$  колосников ограничивать значением  $\Delta S$ , т.е.  $\Delta a \leq \Delta S$ . На рис.17 показано сравнение поля допуска на технологический зазор и величины износа колосников (одностороннего).

С учетом данных экспериментальных исследований износостойкости колосников джина получено: значения одностороннего износа  $\Delta a/2 = 0,09$  и  $0,15$  мм соответственно для упрочненных колосников и без обработки при допуске на зазор  $\Delta S/2 = 0,2$  мм.

Таким образом, для упрочненных колосников еще сохраняется значительный резерв работоспособности.

Проведен расчет экономической эффективности от внедрения в производство упрочненных чугуновых колосников для волокноотделительных машин, отличающихся высокой износостойкостью, которая является основным критерием работоспособности этих деталей рабочей камеры. Годовой экономический эффект за счет использования в производстве упрочненных

колосников для джинов и линтеров с повышенной долговечностью составил 84097,1 тыс.сум.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов теоретико-экспериментальных исследований, проведенных в диссертационной работе, сделаны следующие выводы:

1. Длительное сохранение технологического зазора между колосниками в джинах и линтерах за счет обеспечения износостойкости рабочей части колосников способствует качественному волокнуотделению. Метод механического упрочнения чугунных колосников имеет технологическое преимущество перед традиционной термической обработкой и не требует затрат легирующих элементов, обеспечивая повышение твердости поверхностного слоя деталей и соответственно увеличение износостойкости.

2. Анализируя зависимость степени максимального наклепа для структуры металла различной твердости, установлено, что для ферритных и ферритно-перлитовых чугунов, имеющих твердость НВ соответственно 150 и 200, максимальная степень наклепа составляет 55-35%. Приведенное служит обоснованием для механической обработки малопластичного материала колосников серого чугуна СЧ15 с целью создания эффекта деформационного упрочнения поверхностного слоя.

3. При исследовании деформированного состояния в процессе дробеударной обработки стальными микрошариками чугунных материалов были определены степени поверхностной деформации  $\Psi$  у серых чугунов, имеющих ферритовую и ферритно-перлитовую структуру с твердостью НВ140...220 при скорости удара дроби  $v=20...40$  м/с. В данном диапазоне скоростей  $\Psi$  возрастает от 0,221 до 0,313 (на 42%) при твердости НВ220.

4. Оценка напряженного состояния поверхностного слоя чугунных деталей при динамическом упрочнении дробью выполнена на базе моделирования усилия на контакте, приложенного в точке в виде сосредоточенной силы  $P$ . Динамическая задача решена как статическая в силу принятых допущений и получены зависимости для главных нормальных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и интенсивности напряжений  $\sigma_i$  по глубине поверхностного слоя полубесконечного тела.

5. На основе теплофизического анализа дробеударного упрочнения разработан алгоритм расчета контактной температуры при обработке стальной дробью диаметром  $D=0,3$  мм со скоростью  $v=30$  м/с серого чугуна СЧ15 (НВ229), которая составила  $\theta=272^\circ\text{C}$  на глубине  $z=0,01$  мм. Такой уровень температуры не вызывает термопластические деформации и структурно-фазовые превращения в тонком поверхностном слое.

6. Получена аналитическая зависимость для определения глубины наклепа  $h_n$  при дробеударной обработке, учитывающая взаимосвязь динамической твердости НМ по Мейеру и статической твердости НВ по Бринеллю, а также факт многократного (до 10-12 ударов) соударения дроби по упрочняющей поверхности. Выполнен анализ зависимостей нормальной силы

вдавливания, следующих из уравнения движения сферического тела в обрабатываемой среде и при внедрении цилиндрического пуансона с шаровым концом в пластическую среду (металл), ограниченную плоскостью.

7. Экспериментально исследована твердость поверхности чугунных колосников для джинов и линтеров в исходном состоянии и после продолжительного срока эксплуатации в производственных условиях. Установлено, что твердость по Бринеллю НВ в рабочей части колосников после эксплуатации в течение 105 рабочих дней уменьшилась на 34 и 33% соответственно для неупрочненных и упрочненных колосников в рабочей зоне (колосники российского производства).

8. Определены экспериментально высотные параметры шероховатости поверхности  $R_a$  и  $R_z$ , измеренные на чугунных колосниках для джинов и линтеров. Установлено, что исходная шероховатость поверхности, выраженная средним арифметическим отклонением  $R_a$ , для колосников джина соответствует требуемому диапазону значений  $R_a=0,63\dots0,32$  мкм и составляет 0,429 мкм; для колосников линтера  $R_a=1,731$  мкм, что несколько превышает рекомендуемый диапазон значений  $R_a=1,25\dots0,63$  мкм.

9. В результате испытаний на износостойкость установлено, что в течение 105 рабочих дней колосники, упрочненные дробеударной обработкой микрошариками, имеют повышенную износостойкость по сравнению с неупрочненными. Износ чугунных колосников джина с упрочненной поверхностью в 1,7 раз меньше, чем у колосников без обработки и составил всего 0,176 мм; износ упрочненных колосников линтера за тот же период испытаний в 2,2 раз меньше, чем у неупрочненных.

10. Получены уравнения развития изнашивания по результатам испытаний колосников на износ в зависимости от времени  $t$ , позволяющие осуществить приближенную прогнозную оценку абсолютного линейного износа  $\Delta a$  колосников, влияющего на величину регламентированного технологического зазора между колосниками одноименной решетки.

11. Годовой экономической эффект от использования упрочненных чугунных колосников в волокноотделительных машинах в условиях хлопкоочистительного завода составил 84097,1 тыс. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR ADDING ACADEMIC DEGREES  
DSc30/30.11.2021.T.141.01 AT SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF  
FIBROUS CROPS**

---

**SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF FIBROUS CROPS**

**YUSUPOV A'LO ANVAROVICH**

**INCREASING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF COTTON  
PROCESSING MACHINES BY MECHANICAL HARDENING OF GRATE  
BARS DURING SHOT BLASTING**

**05.02.03 – “Technological machines. Robots, mechatronics and robotic systems”**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
IN TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2025**

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences has been registered under the number B2024.4.PhD/T2665 with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovation of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation was completed at the Research Institute of Fiber Crops.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page at Research Institute of Fiber Crops <http://paxtasanoatilm.uz/> and on the Information and Educational Portal "ZiyoNet" at [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific adviser:** Muminov Mansurbek Rakhimovich  
doctor of philosophy (PhD) in technical sciences, senior researcher

**Official opponents:** Rosulov Ruzimurod Khasanovich  
doctor of technical sciences, professor

Ibragimov Farxod Xayrulloevich  
doctor of technical sciences, docent


**Leading organization:** Jizzakh Polytechnic Institute

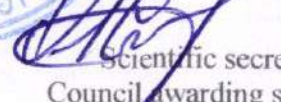
The defense of the dissertation will take place on 27 august 2025 at 12<sup>00</sup> a meeting of the Scientific Council DSc.30/30.11.2021.T.141.01 at the Research Institute of Fiber Crops at the address: 111202, Tashkent region, Kibray district, Botany, UZPITI street, NIISSAAVH Administrative building of the Research Institute of Breeding, Seed Growing and Agricultural Technologies for Cotton Growing, 1st floor, large meeting room, tel.: (+99871) 207-04-03, fax: (+99871) 256-04-21. e-mail: <https://www.paxtasanoatilm.uz>).


The dissertation can be found at the Information and Resource Center of the Scientific Research Institute of Fiber Crops (registered under № 45). Address: 111202, Tashkent region, Kibray district, Botany, UZPITI street, NIISSAAVH. Tel.: (+99871) 207-04-03, fax: (+99871) 256-04-21.

The abstract of the dissertation was distributed on 18 august 2025 year.  
(Registration Certificate № 45 dated 18 august 2025 year).



  
**T.M. Quliyev**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

  
**R.K. Djamolov**  
Scientific secretary of Scientific  
Council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

  
**R.Sh. Sulaymonov**  
Chairman of the scientific seminar under  
the scientific Council award scientific  
degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research** is to ensure the technological quality of the working surfaces of the grates in fiber separation machines and to enhance their performance by means of dynamic surface hardening through shot peening treatment.

**The object of the study** is cast iron grates of the working chamber in fiber separation machines.

**The subject of the research** includes the mechanics and thermophysics of contact interaction during shot impact on a metal surface, the stress–strain state under dynamic contact, and the quality parameters of the surface layer during shot peening hardening.

### **The scientific novelty of the research:**

for the first time in mechanical engineering practice, mechanical surface hardening of cast iron components has been applied based on a substantiated ability of the structural constituents of iron–carbon alloys to undergo hardening;

an analytical relationship has been obtained for determining the depth of work hardening during shot peening, taking into account the correlation between the dynamic Meyer hardness and the static Brinell hardness of the material being hardened;

a computational model has been developed to describe the stress state during dynamic hardening of low-ductility gray cast iron using shot peening;

It has been determined that the linear wear of hardened grates in gins and linters is 1.7 and 2.2 times lower, respectively, than that of unhardened ones, which is significantly less than the tolerance field for the technological clearance between the grates.

**Implementation of research results.** Based on the scientific findings obtained during the research on shot peening treatment of grates for gins and linters:

Cast iron grates with hardened working surfaces were implemented in the gin-linter workshop of the Yukorichirchik branch of the “Real Agrop Cotton” enterprise, Tashkent Region (certificate No. 03/25-1078 dated May 21, 2024, issued by the “Uztekstilprom” Association). As a result of the implementation, the operational reliability of fiber separation machines was improved due to an increase in the wear resistance of cast iron grates by 1,7 and 2,2 times for gins and linters, respectively, treated with micro-shot surface hardening. This confirms the feasibility of mechanical hardening for low-ductility structural materials.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 122 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I-bo'lim (I-раздел; part I)**

1. Муминов М.Р., Искандарова Н.К., Шин И.Г., Юсупов А.А. Об оценке коэффициента потерь энергии при динамическом упрочнении дробью деталей машин // UNIVERSUM: Технические науки. 2024. №4(121) С.57-60. (02.00.00; №1)

2. Юсупов А.А., Муминов М.Р., Искандарова Н.К., Шин И.Г., Муминов Б.Б. Повышение износостойкости чугуновых колосников волокноотделительных машин динамической обработкой микрошариками их рабочих поверхностей// Научно-технический журнал ФерПИ. 2024. Спец.вып. №4.-С44-49. (02.00.00; №20)

3. Искандарова Н.К., Юсупов А.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Особенности формирования напряженного состояния при дробеударной обработке малопластичных материалов// UNIVERSUM: Технические науки. 2024.№5(122). - С.44-48. (02.00.00; №1)

4. Yusupov A.A., Muminov M.R., Iskandarova N.K., Shin I.G., IN THE INFLUENCE OF THE WEAR RESISTANCE OF GRATE BARS ON THE TECHNOLOGICAL GAP BETWEEN THEM IN FIBER SEPARATING MACHINES // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. Vol.9, Issue 1. 2024.P.80-84. (05.00.00; №33)

5. Шин И.Г., Муминов М.Р., Искандарова Н.К., Юсупов А.А. Анализ упрочняющих технологий чугуновых деталей волокноотделительных машин в связи с особенностями структуры и свойств конструкционного материала// Технология текстильной промышленности 2024. № 6 (414) С.222-231. (Scopus)

**II-bo'lim (II-раздел; part II)**

6. Shin I.G., Mo'minov M.R., Yusupov A., Iskandarova N. Surface plastic deformation method for increasing the wear resistance of fire grates in fiber separating machines // III International Conference on Advances in Applied Physics and Mathematics for Energy, Environment and Earth Science (AAPM-III 2025) Wep of conference, pp.1-6.

7. Муминов М.Р., Юсупов А.А., Шин И.Г. О взаимосвязи режимных параметров при дробеударном упрочнении деталей хлопкоперерабатывающих машин // «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновация-2022): Международная научно-техническая конференция. Сборник материалов.-Москва, РГУ им. А.А.Косыгина (Технологии. Дизайн.Искусство), 2022.-С.316-318.

8. Юсупов А.А., Мадрахимов Д.У., Муминов М.Р., Шин И.Г. Обоснование оптимального зазора между пуансоном и матрицей при вырубке зубьев пильного диска // «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновация-2022): Международная научно-техническая

конференция. Сборник материалов.-Москва, РГУ им. А.А.Косыгина (Технологии. Дизайн.Искусство), -С.319-322.

9. Муминов М.Р., Юсупов А.А., Шин И.Г. Формирование высотного параметра шероховатости при поверхностной обработке металлических поверхностей ударами микрошариков // “Fan, ta’lim, ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida paxta tozalash, to’qimachilik, yengil sanoat, matbaa ishlab chiqarish innovatsion texnologiyalari dolzarb muammolari va ularning yechimi” mavzusida o’tkazilgan Respublika ilmiy – amaliy anjuman materiallari to’plami. 18-19 may, - Toshkent, 2022, I-qism, I, II - sho’balar, 236-239 b.

10. Юсупов А.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Тепловой баланс при контактом взаимодействии дроби с упрочняемой поверхностью детали // “Fan, ta’lim, ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida paxta tozalash, to’qimachilik, yengil sanoat, matbaa ishlab chiqarish innovatsion texnologiyalari dolzarb muammolari va ularning yechimi” mavzusida o’tkazilgan Respublika ilmiy – amaliy anjuman materiallari to’plami. 18-19 may, - Toshkent, 2022, I-qism, I, II - sho’balar, 239-242 b.

11. Шин И.Г., Юсупов А.А., Мадрахимов Д.У., Муминов М.Р., Влияние марки инструментального материала пуансонов на их стойкость при вырубке зубьев пильных дисков для хлопкоперерабатывающих машин // “Fan va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida to’qimachilik va yengil sanoatdagi muammolar va ularni bartaraf etish yo’llari” mavzusida o’tkazilgan Xalqaro ilmiy – amaliy anjumani 5-6 may, Namangan, 2022. 1-tom. 184-188 b.

12. Шин И.Г., Муминов М.Р., Юсупов А.А, О роли дислокации в формировании технологических остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин. // “Fan va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida to’qimachilik va yengil sanoatdagi muammolar va ularni bartaraf etish yo’llari” mavzusida o’tkazilgan Xalqaro ilmiy – amaliy anjumani 5-6 may, Namangan, 2022. 1-tom. 188-189 b.

13. Муминов М.Р., Юсупов А.А., Шин И.Г. Дробеударное упрочнение чугуновых колосников хлопкоперерабатывающих машин // “Проблемы, практические задачи механики и математики”: Республиканская научно-практическая конференция, Ташкентский химико-технологический институт, 26-28 мая, 2022. -С. 348-350.

14. Муминов М.Р., Юсупов А.А, Шин И.Г. Энергетические аспекты дислокационной модели формирования остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании деталей машин. “Проблемы практические задачи механики и математики”: Республиканская научно-практическая конференция, Ташкентский химико-технологический институт, 26-28 мая, 2022. -С. 350-352.

15. Шин И.Г., Муминов М.Р., Юсупов А.А. Повышение износостойкости пуансонов пилонасекательных станков деформационным упрочнением их поверхностного слоя динамической обработкой микрошариками // “Soha korxonalarini uchun yuqori malakali kadrlar tayyorlashda milliy va xorijiy tajribalar”

mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman to'plami, 1- qism, TTYeSI, Toshkent 2022 yil, B. 73-76.

16. Максудов Р.Х., Муминов М.Р., Юсупов А.А., Эффективность дробеударного упрочнения деталей волокноотделительных машин // «Sifatli ta'lim interdisiplinar yondashuv: muammolar, yechimlar va hamkorik»: Xalqaro ilmiy amaliy anjuman Materiallari. - Gulistan: GDU, 25-26-may, 2023.-313-316 b.

17. Муминов М.Р., Юсупов А.А., Искандарова Н.К., Шин И.Г. Аналитическое определение температуры при дробеударной обработке чугуновых деталей // «Актуальные направления развития текстильной и легкой промышленности в современных условиях»: Первая Всероссийская научная конференция с международным участием. Сборник научных трудов. – Москва: РГУ им А.А.Косыгина (Технологии.Дизайн.Искусство.), 2024. -С. 176-181.

18. Искандарова Н.К., Шин И.Г., Муминова М.Р., Юсупов А.А., Моделирование напряженного состояния при дробеударном упрочнении малопластичных материалов // Первая Всероссийская научная конференция с международным участием: Сборник научных трудов. – Москва: РГУ им А.А.Косыгина (Технологии.Дизайн.Искусство.), 2024. -С.150-154.

19. Шин И.Г., Муминов М.Р., Искандарова Н.К., Юсупов А.А. О коэффициенте восстановления и потерь энергии при динамическом упрочнении микрошариками деталей машин // Первая Всероссийская научная конференция с международным участием: Сборник научных трудов. – Москва: РГУ им А.А.Косыгина (Технологии.Дизайн.Искусство.), 2024. -С.31-34.

20. Юсупов А.А., Муминов М.Р. Экспериментальное исследование работоспособности упрочненных чугуновых колосников волокноотделительных машин // «O'zbekistonda yangi iqtisodiy isohotlar sharoitida paxta, to'qimachilik, yengil sanoat va manbaa sohalari texnologiyalarining rivojlantirishning istiqbollari va muammolari.»: Республиканская научно-практическая конференция. -Ташкент: ТИТЛП, 2024. -С.339-341.

21. Юсупов А.А., Муминов М.Р., Искандарова Н.К., Шин И.Г. Об особенности упрочняющих технологий чугуновых деталей волокноотделительных машин: Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. -Витебск: УО «ВГТУ», 2024. -С.408-410.

22. Муминов М.Р., Юсупов А.А., Эффективность дробеударного упрочнения чугуновых колосников для джинов: Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. -Витебск: УО «ВГТУ», 2024. -С. 397-400.

Avtoreferat “Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti” ilmiy texnikaviy jurnali  
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlari mosligi  
tekshirildi (13.08.2025-yil)

Bosishga ruxsat etildi: 15.08.2025-yil.  
Bichimi 60x45<sup>1/8</sup>, “Times New Roman”  
garniturada, raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i 3,25. Adadi: 60. Buyurtma №70.  
TTYSI bosmaxonasida chop etildi.  
Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Shohjahon ko‘chasi, 5-uy.

