

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.08.01  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ**

**ШОДМОНКУЛОВ ЗОХИР АБДУРАХИМОВИЧ**

**ЛИНТЕР МАШИНАЛАРИНИНГ ДИСК АРРАСИ ТИШЛАРИНИ  
ИШЛАШ ЛАЁҚАТИНИ ОШИРИШ МАҚСАДИДА УСТКИ  
ҚАТЛАМИНИНГ ТЕХНОЛОГИК СИФАТИНИ ТАЪМИНЛАШДА  
АБРАЗИВ ЗАРРАЛАР ОҒИМИ БИЛАН ИШЛОВ БЕРИШ**

**05.02.03 – Технологик машиналар. Роботлар, мехатроника ва  
робототехника тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси  
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническом наукам  
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Шодмонкулов Зоҳир Абдурахимович**

Линтер машиналарининг диск араси тишларини ишлаш лаёқатини ошириш мақсадида устки қатламининг технологик сифатини таъминлашда абразив зарралар оқими билан ишлов бериш.....3

**Шодмонкулов Зоҳир Абдурахимович**

Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя при абразивно-струйной обработке зубьев пильных дисков лентерных машин с целью повышения их работоспособности.....21

**Shodmonkulov Zokhir Abduraximovich**

Technological provide of quality a surface layer at abrasive-jet processing of teeth of saw disks of the linter machines with the purpose of increase of their working capacity.....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....42

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.08.01**  
**РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ**

**ШОДМОНКУЛОВ ЗОХИР АБДУРАХИМОВИЧ**

**ЛИНТЕР МАШИНАЛАРИНИНГ ДИСК АРРАСИ ТИШЛАРИНИ**  
**ИШЛАШ ЛАЁҚАТИНИ ОШИРИШ МАҚСАДИДА УСТКИ**  
**ҚАТЛАМИНИНГ ТЕХНОЛОГИК СИФАТИНИ ТАЪМИНЛАШДА**  
**АБРАЗИВ ЗАРРАЛАР ОҶИМИ БИЛАН ИШЛОВ БЕРИШ**

**05.02.03 – Технологик машиналар. Роботлар, мехатроника ва**  
**робототехника тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Т743 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти ҳузуридаги Илмий кенгаш веб-саҳифада [www.titli.uz](http://www.titli.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталида [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz) манзилига жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Шин Илларион Георгиевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий  
оппонентлар:**

**Бахадиров Гайрат Атаханович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Сулаймонов Рустам Шенникович**  
техника фанлари доктори, к.и.х.

**Етакчи  
ташкilot:**


**Жиззах политехника институти**


Диссертация ҳимояси Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.08.01 рақамли илмий кенгашнинг 2020 й “05” 08 соат 11<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100100, Тошкент ш., Шохжаҳон-5, тел: (+99871) 253-06-06, 253-08-08, факс: 253-36-17; e-mail: titlp [info@edu.uz](mailto:info@edu.uz), Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти маъмурий биноси, 2-қават, 222-хона).

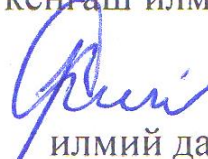
Диссертацияси иши билан Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (80 сон билан рўйхатга олинган). Манзил: 100100, Тошкент ш., Шохжаҳон-5, тел. (+99871) 253-06-06, 253-08-08.

Диссертация автореферати 2020 йил “30” 07 куни тарқатилди.  
(2020 йил “29” 07 даги № 80 рақамли реестр баённомаси).



  
**Б.Онорбоев**  
илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, т.ф.д.

  
**А.Гуламов**  
илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

  
**Ш.Хакимов**  
илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш ҳузуридаги  
илмий семинар раиси, т.ф.д.

## КИРИШ (Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда пахта толаси тўқимачилик саноатининг асосий хом ашёси бўлган табиий толалар орасида етакчи ўринни эгаллайди. Пахта бўйича халқаро маслаҳат кўмитасининг (ICAC) маълумотларига кўра, Бангладеш, Вьетнам, Хитой, Туркия, Индонезия ва Покистон<sup>1</sup> пахта толасини импорт қилиш бўйича етакчилар сифатида тан олинган. Жаҳон миқёсида рақобатбардош маҳсулотларни ишлаб чиқариш ва пахта тозалаш саноатининг барқарор ривожланиши, соҳага замонавий ускуналарни жорий этилиши ва ишлаб чиқариш қувватларидан самарали фойдаланишга асосланган.

Жаҳон амалиётида пахтани дастлабки ишлаш техника ва технологияларни такомиллаштириш бўйича олиб борилган илмий-тадқиқот ишлари муҳим ўрин тутди.

2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида “... миллий иқтисодиётнинг рақобатдошлигини ошириш, энергия ва ресурс харажатларини камайтириш, энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш ...”<sup>2</sup> вазифалари белгиланган. Шу жумладан, пахтани қайта ишлаш машиналари ишчи қисмлари деталларининг юқори сифатини таъминлаш орқали ишончилигини ошириш борасида илмий-тадқиқот олиб бориш бугунги куннинг долзарб вазифаларидан бири ҳисобланади. Ушбу йўналишдаги вазифалардан бири момиқ ажратиш машиналари арраларнинг ишончилигини оширишдир.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 22 декабрдаги ПҚ-2692–сон «Саноат тармоқлари корхоналарининг жисмоний ишдан чиққан ва маънавий эскирган машина-ускуналарини жадал янгилаш» Қарори, Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йил 25 январдаги 53-сон «Пахта-тўқимачилик ишлаб чиқаришини ташкил этишнинг замонавий шакллари жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур диссертация республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Бир қатор хорижий олимлар E.Tomsen, Ch.Yang, Sh.Kobayashi, E.M.Trent, X.Opits, I.Armarego, R.X.Braun, S.V.Serensen, Б.А. Кравченко, Д. Папшев, А. А. Маталин, А. Д. Макаров, В. К. Старков, А. М. Сулима ва бошқаларнинг илмий

<sup>1</sup> Cotton: World Statistics. <http://www.ICAC.org>; <http://www.statica.com>.

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги ПФ-4947-сон Фармони

изланишлари, механизмлар ва машиналар деталларининг ишончилигини ошириш ҳамда сифатини яхшилашга бағишланган.

Технологик машиналар ишчи қисмларининг деталларини тайёрлашда мустаҳкамлик хусусиятларини таъминлаш борасида бир қатор технологиялар таклиф этилиб, республика олимлари Р.Г. Махкамов, И.Г. Шин, Э.М. Абдул-Раззоқов, М.Г.Хамов, А.П.Рогов, А.М. Аҳмедов ва бошқалар ушбу соҳани ривожланишига салмоқли ҳисса қўшдилар.

Тадқиқотчилар М.В. Поқрас, П.Т. Махкамов, А.Д. Бекмухамедов, Э.Т. Мақсудов, Э.К. Нуралиев, Б.Й. Кушакеев, Р.Ш. Сулаймонов ва бошқалар томонидан линтер арра тишларининг қирраларини геометрик ўлчамларини ўрганиш ва таққослаш билан боғлиқ қатор муҳим масалаларни, жумладан арра тишларидаги нуқсонларнинг технологик жараёнига таъсирини, пахта чигитларини ва момикни тозалаш технологиясини такомиллаштириш масалалари ўрганилди. Бироқ линтерлаш самарадорлигини ошириш масалалари, арра тишлари сиртларининг фаол ва жадал иштирок этиши бўйича илмий изланишлар етарлича олиб борилмаганлиги сабабли ўз ечимини топмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация ИОТ-2013-5-28 “Пахтани дастлабки ишлаш машиналари жавобгар деталларини сирт қатламини микрошарча билан динамик мустаҳкамлашдан сўнг квалиметрия бўйича ишга лаёқатлилигини ошириш ва узоқ вақтга чидамлилигини прогноз қилиш” номли инновацион лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** арра тишларининг устки қатламини фаоллаштирилган абразив зарралар оқими билан ишлов бериш орқали ишлаш лаёқатини ошириш, линтерлаш жараёнини жадаллаштиришдан иборатдир.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

гадир-будирлик баландлиги параметрларини топиш учун аналитик ечим олиш ва абразив оқимли ишлов беришда металлларнинг пластик деформациясининг дислокация кўринишлари асосида деталлар сирт микронотекисликларини шакллантириш механизми ва абразив заррачалар билан ишлов бериш шароитидаги ўзаро таъсирини аниқлаш;

арра тишларига абразив оқимли ишлов бериш режимининг рационал параметрларини танлаш;

сиқилган ҳавонинг босими  $p$  ва абразив зарралар ёрдамида ишлов бериш бурчаги  $\alpha$  ни сирт нотекисликлари баландлигига таъсирини аниқлаш мақсадида тажрибаларни режалаштиришнинг математик усулидан фойдаланиб регрессия тенгламасини тузиш;

атомли кучлар усули ва рентгенли дифракция микроскопияси ёрдамида арра тишлари ён сиртининг микропрофиль параметрларини ўрганиш ва нотекисликларнинг максимал баландлигини ва қадамини аниқлаш;

чигитдан момиқни қириб олишни фаоллаштирилган технологик жараёнини асослаш ва абразив оқимли ишлов беришда юзага келадиган деформациянинг мустаҳкамлаш самарадорлиги таъсирини ўрганиш;

қиёсий ишлаб чиқариш синовларини ўтказиш, шунингдек, абразив зарралар оқими билан ишлов берилган арра тишларини линтерлаш технологик жараёнига жорий қилиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида 5 ЛП линтер машинаси аррали цилиндрининг арралари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** абразив оқимли ишлов бериш натижасида сирт микрокесимининг шаклланиши ҳосил қилинган, унда арра тишларининг ён сиртини фаоллаштириш учун технологик шароит яратилган ва устки қатламнинг сифатли бўлиши олинган.

**Тадқиқотнинг усуллари** тадқиқотларда назарий ва амалий механика, қаттиқ жисмлар физикаси дислокациялари назарияси, эластиклик ва пластиклик назарияси, емирилиш ва мустаҳкамлик гипотезаси, атомли кучлар ва рентгенли диффракция микроскопияси усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйдагилардан иборат:

абразив оқимли ишлов беришда металлларнинг пластик деформациясининг дислокация асосини ҳисобга оладиган сирт микронотекисликларини шакллантириш механизми ва модели ишлаб чиқилган;

ишлов берилган сиртнинг микропрофиль нотекисликлари баландлигини ҳисоблаш учун аналитик ечим ишлаб чиқилган;

абразив оқимли ишлов беришда режимли параметрларга қараб ғадир-будирлик баландлиги параметрларидаги ўзгаришларнинг мос келиш сабаблари аниқланган;

абразив заррачалар оқими билан тегишли арра тишларининг металл сиртларига ишлов беришда деформациянинг мустаҳкамлаш (чуқурлик ва пухталиқ даражаси) параметрларининг оралиқ қийматлари олинган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйдагилардан иборат:

арра тишларини қора кремний карбиднинг зарралари ҚҚ билан абразив оқимли ишлов бериш жараёнининг юқори самарадорлиги исботланган, нотекисликларнинг баландлик ва қадам параметрлари билан тиш ён томонларини фаоллаштиришга ва чигитларни линтерлаш жараёнини жадаллаштиришга имкон берадиган, созланадиган ва қулай микропрофиль яратилиши билан исботланган;

ишлов берилган арра тишлари билан линтерлаш жараёнида: чигитлардаги тукдорлик 20% га ва механик шикастланиш 25% га камайган;

линтер арра тишларига абразив оқимли ишлов бериш, қулай сирт микропрофилидан ташқари, микрокесиш-тирналишда металнинг пластик деформацияси натижасида мустаҳкамлик даражасининг ортиши ҳисобига линтер арраларининг ишлаш қобилияти икки бараварга ортган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Ишлов бериладиган сиртга абразив зарралар билан ишлов бериш таъсирини таърифлаш учун физик ва математик моделлар асосли танлови билан тасдиқланиб, назарий ва

тажрибавий тадқиқотлар натижаларининг мослиги, апробация натижаларини ижобийлиги, абразив оқимли ишлов берилган линтер арралари жорий этилганлиги билан изоҳланади.

#### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларини илмий аҳамияти ишлов бериш жараёнида йўналтирилган абразив зарралар томонидан шаклланган сирт микропрофиль нотекикликларининг баландликлари ва қадами параметрлари ҳосил бўлиб арра тишларининг ён сиртини фаоллаштириш орқали линтерлаш жараёнини жадаллаштириш ва уни такомиллаштирилиши исботланди.

Олиб борилган тадқиқотнинг амалий аҳамияти шундаки, чигитнинг тукдорлиги ва механик шикастланишни камайди, шунингдек абразив оқим билан ишлов берилгандан сўнг арра тишлари устки қатлами деформациясининг мустаҳкамлиги ҳисобига арраларнинг чидамлилигини ортганлигидан иборат.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Илмий натижаларга асосланиб, эркин қаттиқ жисмларнинг урилиши натижасида механик ишлов бериш технологик имкониятлари ўрганилди, хусусан, абразив оқимли ишлов бериш бўйича тадқиқот ишлари олиб борилди:

тишларига абразив зарра қора кремний карбиди билан абразив оқимли ишлов берилган линтер арралари Тошкент вилоятининг Бўка ва Пискент пахта тозалаш корхоналарига жорий қилинди (2019 йил 25 мартдаги 02-18/1854-сонли “Ўзпахтасаноат” АЖ маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида чигитлар сифатининг яхшиланиши (механик шикастланишни 25% га камайиши, тукдорликни 20% га пасайиши) ва линтер арраларининг ишлаш вақтини икки мартабадан кўпроқ ошгани ҳисобига линтерлаш самарадорлиги ошишига эришилди;

арра тишларини микрошарчаларда икки томонлама динамик мустаҳкамлаш усулига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделига патент олинди (“Деталларга абразив зарралар билан ишлов бериш учун аппарати” № FAP 20140159, 2016 й.).

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 21 та халқаро ва 12 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 13 та мақола нашр этилган ҳамда Ўзбекистон Республикасининг 2 та патенти олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 135 бетни ташкил этган.



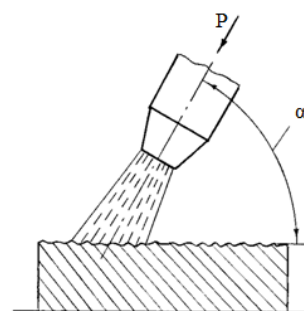
## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, тадқиқот натижаларини ишлаб чиқаришга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

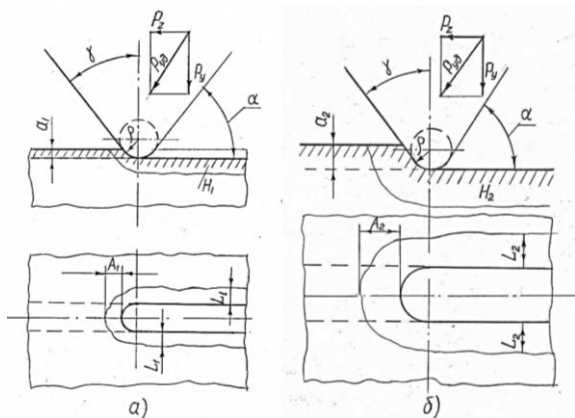
Диссертациянинг биринчи бобида **“Линтерлаш жараёнини жадаллаштириш йўллари ва пахтани қайта ишлаш машиналари арра тишларини мустаҳкамлаш технологияси таҳлили”** бўйича ишлов бериш методи ва арра тишларини мустаҳкамлаш технологияси, уларнинг ишлаш қобилияти ва узоқ муддат ишлашини ошириш, тишларнинг ишчи майдони сирт қатламини сифат кўрсаткичини яхшилаш ҳисобига таъминлаш, шунингдек диск текислигига нисбатан тишлар қисмини жойлашганлиги ва геометриясини ўзгарганлиги, линтерлаш жараёнини жадаллаштириш бўйича маълумотлар келтирилган. Шу билан бир қаторда, бу ишнинг долзарблиги ва зарурати шунини тасдиқлайдики, ҳозиргача тишлар ён сиртларини фаоллаштириш бўйича тадқиқотлар олиб борилмаган.

Диссертациянинг иккинчи бобида **“Машина деталларини абразив оқимли ишлов беришда сирт қатлами сифатини шакллантиришнинг назарий асосларини ишлаб чиқиш”** бўйича линтер учун арра тишлари ён сиртларига абразив оқимли ишлов бериш жараёнида дислокация асосидаги тасаввур металлларнинг пластик деформациялари, ишлов бериладиган сиртда микронотеkisликларнинг шаклланиш механизминини ишлаб чиқиш масаласига бағишланган.

Механик ишлов бериш усуллариининг таснифига мувофиқ машина деталларининг металл сиртларига абразив оқимли ишлов бериш, эркин абразив билан пардозлашга тегишли, унинг барчаси сиқилган ҳавонинг босими  $p$  остида ёки коррозияга қарши суюқлик (гидроабразив ишлов бериш) таркиби сифатида маълум бир  $\alpha$  бурчак остида ишлов беришга йўналтирилади (1-расм).



1-расм.  $\alpha$  бурчакли эркин абразивларда ишлов бериш (силлиқлаш) усулидаги оқимнинг (ҳаво, суюқлик) схемаси



а – озрок қалинликда ажратилаётган қатлам  $a_1$ ; б – кўпроқ қалинликда ажратилаётган қатлам  $a_2$ .

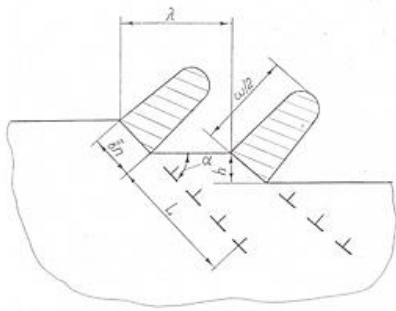
2-расм. Ишлов берилаётган материални кесувчи (доиравий шаклда) элементда ( $\rho = \text{const}$ ) микроқирқилиш (тирналиш)

металлнинг пластик деформацияси жараёнида содир бўлади. Агар ажратилаётган қатламнинг қалинлиги  $a_2 > a_1$  бўлса, у ҳолда  $A_2 > A_1$ ,  $L_2 > L_1$ ,  $H_2 > H_1$  бўлади. Агар текисликда  $\tau$  ажратувчи силжишдаги кучланиш, ишлов берилаётган материалнинг  $\tau_{\text{сдв}}$  силжишдаги оқувчанлик чегараси ҳақиқий қаршилиқдан ошса:  $\tau \geq \tau_{\text{сдв}}$  абразив заррачаларнинг илгариланма кўчиши қиринди олиши мумкин. Шундай қилиб, абразив заррачалар ишлов берилаётган деталнинг металл сирти билан контактдаги ўзаро таъсири натижасида пайдо бўлган пластик деформацияси, унинг геометрик ва физик-механик параметрлари мажмуаси тавсифланадиган сирт қатламининг якуний ҳолати учун муҳим ҳисобланади.

Металларда пластик деформация жараёни асосан фазовий кристалл панжарадаги дислокацияларнинг индивидуал чизиқли камчиликларини (бузилишларини) силжиш (сирпаниш текислигида кўчиши) орқали амалга оширилади. Металларнинг пластик деформацияси жараёни орқали шундай оқувчанлик чегараси, дислокация зичлиги, Бюргерс вектори, Пуассон коэффициенти, силжиш модули, нормал ва уринма кучланишлар каби параметрлар, микро- ва макротасаввурлар тадқиқотчиларга дислокация назарияси ўз кучининг универсаллиги туфайли боғлашга имкон беради ва бир қатор афзалликларга эга. Металл сиртига дислокацияни чиқиши бир неча силжиш поғаналари кўринишидаги микропрофилнинг шаклланишига олиб келади, бунда ишқаланиш коэффициенти хусусиятига тегишли ташқи ишқаланиш кучини ҳосил бўлишига олиб келади. Силжиш поғаналари баландликлари (3-расм),  $n$  пайдо бўлган дислокация илмоқлари сони,  $\bar{b}$  Бюргерс вектори кўпайтмасига тенг бўлиб, ушбу формула бўйича ҳисоблаш мумкин

$$\bar{b}n = \frac{\pi L \tau (1 - \nu)}{G}, \text{ mm} \quad (1)$$

бу ерда  $\tau$  – силжишдаги кучланиш, МПа;  $\nu = 0,3$  (пўлат учун) – Пуассон коэффициенти;  $G = 0,8 \cdot 10^5$  МПа – силжиш модули;



$h = \bar{b}ns\sin\alpha$  – ишқаланиш сирти нормали бўйича поғана баландлиги;  $\alpha$  – сирпаниш текислигининг оғиш бурчаги;  $\lambda$  – дислокациялар орасидаги масофа;  $\omega$  – дислокация илмоғи кенглиги.

3-расм. Кристаллит сиртида дислокация чиқишидаги поғаналар ҳосил бўлиши модели:

$L$ –дислокация сирпаниш узунлиги, см;  $\bar{b} = 2,5 \cdot 10^{-10}$  м – Бюргерс вектори.

Текисликдаги сирпанишнинг оғиш бурчаги  $\alpha$  ни ҳисобга олиб поғана баландлиги ва нормали бўйича сиртнинг ишқаланиши тузилади

$$h = \bar{b}ns\sin\alpha = \frac{\pi L\tau(1-\nu)\sin\alpha}{G} \quad (2)$$

Абразив оқимли ишлов беришда сирт ғадир-будирлиги микропрофили ҳосил бўлиш жараёнини аналитик ёзиш учун параметр тавсия этилади  $H_{\text{усл}}$  – ишлов берилаётган сирт нотекисликлари шартли баландликлари, сирт ғадир-будирлиги стандарт баландликлари параметрларини бири билан солиштириш мумкин ( $R_{\text{max}}$  – нотекисликлар максимал баландлиги, мкм). Силжишдаги барча

поғаналар баландликлари йиғиндисидан нотекисликлар баландликларини оламит:

$$H_{\text{усл}} = \sum_{i=1}^n h_i = \frac{\pi \Sigma L \tau (1-\nu) \sin \alpha}{G}, \quad (3)$$

бу ерда  $\Sigma L$  дислокация чизигининг умумий узунлиги йиғиндисини ҳосил қилиб,  $\rho_d$  дислокация зичлиги орқали мақсадга мувофиқ ифода этилиб, формуладан аниқланади

$$\rho_d = \frac{\Sigma L}{V}; \quad \Sigma L = \rho_d \cdot V, \quad (4)$$

бу ерда  $V$  – металл билан абразив заррачаларни контактдаги пластик деформацияси соҳасининг ҳажми.

(4) боғланишни ҳисобга олиб, нотекисликлар шартли баландликлари (3) ифодаси қўйидаги кўринишни олади:

$$H_{\text{усл}} = \frac{\pi \rho_d V \tau (1-\nu) \sin \alpha}{G} \quad (5)$$

Шундай қилиб,  $H_{\text{усл}}$  нотекисликлар шартли баландликларини ҳисоблаш учун (5) формула бўйича аввал  $\rho_d$  дислокация зичлигини,  $V$  пластик деформацияси соҳасининг ҳажмини ва  $\tau$  силжишдаги кучланишни аниқлаш зарур.

Ф.Л.Боуден ва Д.Тейбор тадқиқотларига кўра ишқаланишда кучланиш бирламчи контакт атрофидаги шундай кучланишларни статик сингишида пайдо бўлади. Ушбу вазиятни ҳисобга олган ҳолда, шунингдек деформация жараёнини мослигини ҳисобга олсак, босиб киргизишда стандарт ўлчов қаттиқлиги ҳосил бўладиган жисмнинг мутлақ текис сиртини пластик деформацияси бўйича унинг ҳаракатида ва заррачанинг сингишида дислокация зичлиги тенг деб фараз қиламит. Жумладан, дислокация энергияси ва заррачанинг сингиш ишини тенглаштириб, қўйидагини оламит

$$Nh_c = \frac{G \bar{b}^2 \nu \rho_d}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \alpha) \ln \frac{1}{\bar{b} \sqrt{\rho_d}}, \quad (6)$$

бу ерда  $N$  – нормал юкланиш (абразив оқимли ишлов беришда урилиш кучини ташкил этувчи нормали);  $h_c$  – заррачанинг статик сингиш чуқурлиги;  $V$  – деформациядаги микроҳажм.

(б) нисбатидан келиб чиқиб  $\rho_d V$  ни (5) формулага қўямиз, қўйидагини оламиз

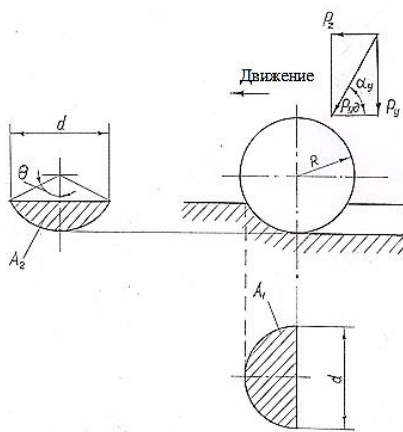
$$H_{усл} = \left( \frac{2\pi(1-\nu)}{G\bar{b}} \right)^2 \frac{\sin \alpha}{(1-\nu \cos^2 \alpha)} \cdot \frac{N h_c \tau}{\ln \frac{1}{\bar{b} \sqrt{\rho_d}}} \quad (7)$$

Металл сирти бўйича (4-расм) абразив заррачалар билан урилишда контактли ўзаро таъсирдаги кейинги боғлиқликни шундай ёзиш мумкин:

$$P_y = P_{уд} \sin \alpha_y = N; \tau = P_z / A_2 = \frac{2P_{уд} \cos \alpha_y}{R^2(2\theta - \sin 2\theta)}, \quad (8)$$

бу ерда  $A_2 = \frac{1}{2} R^2 (2\theta - \sin \theta)$ ;  $R$  – сферик заррачалар радиуси, mm;  $d$  – контакт эластик пластик диаметри, mm;  $\theta$  – конус чўққисининг ярим бурчаги, rad;  $P_{уд}$  – зарба кучи, N;  $\alpha_y$  – зарба бурчаги, grad.

Шундай қилиб, металлнинг пластик деформацияси ҳақидаги



$A_1$  – контакт сирти;  
 $A_2$  – ариқча кўндаланг кесими.

4-расм. Пластик материал бўйича қаттиқ сферик зарралар тирналиши

фундаментал маълумотларга асосланиб, абразив заррачаларнинг металл тўсиқни урилишида контактли ўзаро таъсир механикаси ва сирт қатламининг сифатини шакллантириш назарияси, линтер арралари тишларининг ён сиртига абразивоқимли ишлов беришда нотекисликлар шартли баландликларини ҳисоблаш формуласи олинди:

$$H_{усл} = \left( \frac{2\pi(1-\nu)}{G\bar{b}} \right)^2 \frac{\sin \alpha}{(1-\nu \cos^2 \alpha)} \cdot \frac{P_{уд}^2 \sin 2\alpha_y}{R^2(2\theta - \sin 2\theta)} \cdot \frac{h_c}{\ln \frac{1}{\bar{b} \sqrt{\rho_d}}} \quad (9)$$

бу ерда  $h_c$  – статик сингишнинг максимал чуқурлиги,  $u$  оқимнинг ўртача босими ( $\sigma_T$  физик оқувчанлик чегараси) ёки сингиш қаршилигининг ўртача босими доимий эканлиги тахмин қилинаётган, ишлов берилаётган муҳитдаги

сферик заррачаларнинг ҳаракат тенгламасидан келиб чиқади:

$$h = v_0 D \sqrt{\frac{\rho_M}{6\sigma_T}}, \text{ mm} \quad (10)$$

бу ерда  $\rho_M = 7,8 \text{ g/sm}^3$  – ишлов берилаётган материал зичлиги;  $\sigma_T = 800 \text{ МПа}$  – У8Г пўлатнинг оқувчанлик чегараси;  $p = 1 \dots 4 \text{ atm}$  сиқилган ҳаво босимидаги  $v_0 = 7,83 \dots 15,66 \text{ m/s}$  – абразив заррачалар тезлиги.

Нотекисликлар баландликларини ҳисобланган қиймати, шундай параметрларни ўзгаришидан  $D = 0,6 \dots 1,0 \text{ mm}$  заррача диаметри,  $p = 1 \dots 4 \text{ atm}$  сиқилган ҳаво босими олинган ва шунга боғлиқ бўлган ҳосилавий параметрлар ( $P_{уд}$  урилиш кучи,  $h$  сингиш чуқурлиги,  $\theta$  контакт ярим бурчаги,  $\tau$  силжишдаги кучланиш)  $H_{усл} = 3,28 \dots 11,71 \text{ мкм}$  ораликдаги қийматни ташкил қилди.



5-расм. Тажрибавий (корхонаники) абразив оқим камераси ва уларнинг техник характеристикалари:

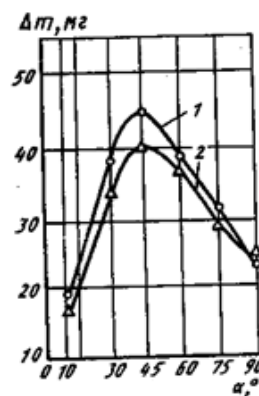
- 1) ишчи зонаси ўлчамлари, mm – 1070×1350×1100;
- 2) ишчи босим, МПа – 0,2...0,4 (2...4 atm);
- 3) сиқилган ҳаво сарфи, m<sup>3</sup>/min – 0,6...1,5;
- 4) абразив учун бункер ҳажми, L – 50;
- 5) абразивнинг дастакка етказиш усули – эжекторли;
- 6) ишлаб чиқарувчанлик, m<sup>2</sup>/soat – 5...20

материал сифатида қора кремний карбиди (КК) қабул қилинди. Ушбу материал жуда кўп тарқалган ва саноатда ишлатишга рухсат берилган, металлларга ишлов бериш учун юқори кесиш хусусиятига эга ва узилишдаги кичик ва ўртача қийматдаги мустаҳкамлик чегараси (пўлат, чўян, бронза) бунда пардозловчи доиралар тайёрланади ва қўлланилади. Қора кремний карбидининг асосий физик-механик хоссалари: микроқаттиқлиги – 3300...3600 N/mm<sup>2</sup>; зичлиги – 3,20±0,05 g/sm<sup>3</sup>; шиша бўйича №16 абразив доначанинг сингдирувчанлиги – 0,4; №40 сочилган донача массаси – 1,48±0,05 g/sm<sup>3</sup>; иссиқликбардошлиги – 1300...1400<sup>0</sup> С. 40 доначали қора кремний карбиди абразивида, абразив оқимли ишлов бериш орқали экспериментал тадқиқот ўтказилди. Ишлов бериш режими ва шароити: p=1..4 atm (0,1...0,4 МПа) – ҳаво босими; α=15...60<sup>0</sup> – ишлов бериш бурчаги. Арра материали - У8Г углеродли асбобсозлик пўлати (σ<sub>в</sub>=1150 N/mm<sup>2</sup> вақтинчалик узилиш қаршилиги, δ=6% нисбий узайиш, НРА 67-70 қаттиқлик).

Линтер арра тишларининг ён сирти билан абразив заррачаларнинг контактли ўзаро таъсиридаги кучнинг барқарорлик эҳтимоли, қаралаётган сиртнинг жойлашувига Н<sub>усл</sub> қийматининг ўзгаришини боғлиқлиги, ишлов берилаётган сирт микропрофилининг сифатли ва миқдорий трансформацияланишига олиб келади.

Диссертациянинг учинчи бобида “Абразив оқимли ишлов беришдан сўнг арра тишлари сирт қатламининг ҳолати бўйича экспериментал тадқиқотлар” атомли кучлар ва рентгенли дифрактометрик микроскопиясида замонавий усуллардан фойдаланган ҳолда линтер арра тишлари ишлов берилган сирти микропрофилининг таркибини ўрганиш натижалари келтирилган. Детал сирт қатлами ҳолатини ўрганиш бўйича экспериментал тадқиқотлар абразив оқимли ишлов беришда шаклланиши, “GAUCH” АЖ (“Технолог” НПО) механик цехида фойдаланилаётган ва ўрнатилган (5-расм) абразив кум оқимли ускунасида олиб борилди.

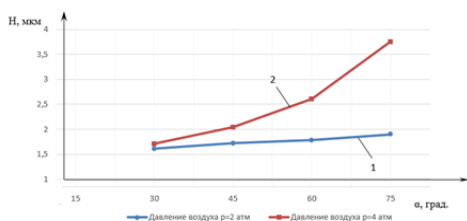
Диссертация ишида арра тишларига абразив оқимли ишлов бериш учун абразив



1 – У7; 2 – У10

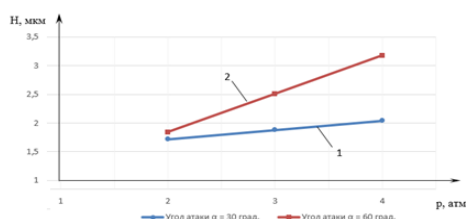
6-расм. α ишлов бериш бурчагидан кейин меъёрлаштирилган ва тобланган пўлатнинг Δm ейилишга боғлиқлиги

6-расмдаги графикда танланган  $\alpha=45^0$  ишлов бериш бурчаги берилганини ҳисобга олиб, максимал ейилишини, жумладан, линтер арра



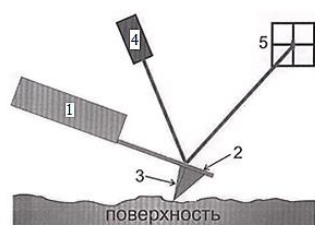
1 – ҳаво босими  $p=2$  atm;  
2 – ҳаво босими  $p=4$  atm

7-расм. Линтер учун аррали диск тишларига абразив оқимли ишлов беришда  $\alpha$  зарбалаш бурчаги зарба остида  $H$  нотекисликлар баландлиги боғлиқлиги



1 – зарбалаш бурчаги  $\alpha=30^0$ ;  
2 – зарбалаш бурчаги  $\alpha=60^0$

8-расм. Линтер арра тишларига абразив оқимли ишлов беришда  $p$  ҳаво босими остида  $H$  нотекисликлар баландлиги боғлиқлиги



1 - чипи (асосли); 2 – таянч (консоль); 3 – зондловчи игна;  
4 – лазер детектирлаш тизимлари; 5 – детектирловчи фотодиод тизимлари  
9-расм. Атомли кучлар микроскопиясининг зондли датчиги қурилмаси

тишлари ён сиртини фаоллаштириш учун мақбул микропрофилдан фойдаланилди.

Тажрибаларни режалаштиришнинг математик усулидан фойдаланиб, линтер арра тишларига абразив оқимли ишлов беришда, асосий режимли характеристикасидан ғадир-будирлик баландликлари параметрларини аналитик боғланишини ёритиш учун тадқиқотлар олиб борилди. Кирувчи параметрлар сифатида қабул қилинди:  $p$  босим, atm;  $\alpha$  ишлов бериш бурчаги, град. Ишлов бериш вақти 2 дақиқага тенг бўлди ва давомий қолди. Чиқувчи параметр – нотекисликлар шартли баландлиги  $H$ , мкм.

Тажриба маълумотларини қайта ишлаш натижасида кодланган ўзгарувчилар билан регрессия тенгламаси олинди

$$y = 1,85 + 0,15x_1 + 0,3x_2 + 0,25x_1x_2, \quad (11)$$

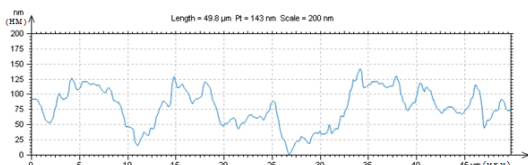
$x_1$ ,  $x_2$  омилларни кодланган қийматлардан табиий ҳолатга ( $p$  босим,  $\alpha$  ишлов бериш бурчаги) ўтказгандан сўнг шу шаклни олади

$$H = 2,3 - 0,35p - 0,03\alpha + 0,017p\alpha, \text{ мкм} \quad (12)$$

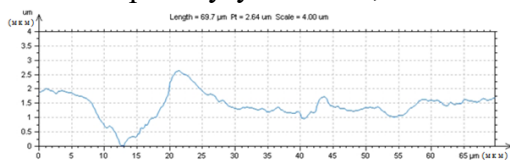
(11) тенгламанинг адекватлиги тасдиғидан (7-расм, 8-расм) линтер арра тишларига абразив оқимли ишлов беришда, нотекисликлар баландликларини ҳисоблаш учун уни ўзгартирилган формуладан қандай фойдаланиш имконини беради.  $p=4$  atm босимда ва  $\alpha=60^0$  ишлов бериш бурчагида  $H=1,47...3,18$  мкмни ташкил этганлиги, нотекисликлар баландликларининг ҳаққоний ўсиши, куч омилнинг ( $p$  - ҳаво босими) ортиши графикда кузатилган.

Ўз. Рес. ФАнинг кимё ва полимерлар физикаси институти лабораториясида Agilent – 5500 сканирловчи зондловчи микроскопи ёрдамида абразив оқимли ишлов берилган сўнг металл сирти структурасини ўрганиш учун атомли кучлар

микроскопиясидан фойдаланилди. Ишда 145 kHz частотали эгилишдаги бикрлиги  $9,5 \text{ N/m}^2$  га тенг кремнийли кантилевер қўлланилди, у (9-расм) атомли кучлар микроскопиясининг зондли датчик қурилмасига киради, сирт



10-расм. Ишлов берилмаган тиш ён сирти сканирланган профили, сканирлаш узунлиги 49,8 мкм



11-расм. Абразив оқимли ишлов берилгандан кейин линтер арра тишлари ён сирти сканирланган профили (босим  $p=3 \text{ atm}$ , зарба бурчаги  $\alpha=45^\circ$ )

массаси билан контактлашганда фаоллашишга қодир эмас ва қолган момикларни қўшимча қиришда иштирок этмайди, чунки пахта толасининг  $d$  кўндаланг ўлчами билан маҳаллий контактли майдон ўлчамига тўғри келмайди ва металл сирти нотекисликлари билан момикларнинг ўзаро таъсири схемаларининг таснифига мувофиқ  $S/d > 1$  ҳолатлар мавжуд. Линтер учун арра тишлари ён сиртига абразив оқимли ишлов бериш натижасида сирт сканирланган профилини бошқа сифат ва миқдор тасвири олинган (11-расм). Нотекисликлар баландликлари максимал қийматлари 49,8 ва 69,7 мкм сканирланган узунлик чегарасида қайд этилди, 2,68 ва 2,64 мкм мос равишда тенг бўлиб, бу ишлов берилмаган тишларга қараганда кўпроқ.

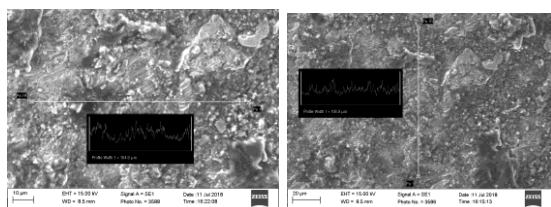
Абразив оқимли ишлов беришнинг асосий натижаси сирт микропрофили нотекисликларининг чўққилари бўйича сезиларли қадами, ( $S > 20 \text{ мкм}$ ) ишлов берилмаган тишларни тегишли қадамидан ва пахта толаси билан солиштирилганда бир неча барабар ортиқ. Шундай қилиб, ишлов берилган сирт микропрофили ( $S/d \geq 1$ ) тишлар ён сиртини фаоллаштириш учун мақбул шароит яратади ва линтерлаш жараёнида улар жалб қилинади.

Линтер арра тишларини дастлабки ҳолатини ўрганиш бўйича экспериментал тадқиқотлар Тошкент юқори технологиялар ўқув-экспериментал марказидаги рентгенли дифрактометрда EMPYREAN XDR (тури XDR – 6100,2 kWt) ўтказилди. Линтер арра тиши чўққисининг сканирланган профили (12-расм) рентгенли дифракция микроскопияси методида олинди. Арра тишларининг зарурий сифати сирт қатлами структурасига нисбатан бир жинсли ва микроёриқлар мавжуд эмаслиги ҳақида маълумот беради. 13-расмда линтер арралари ён сирти иккита ўзаро перпендикуляр йўналиш орқали маълум нуктада ҳар хил траектория узунлигида (суратдаги ёрқин чизик) сканирланган майдон кўрсатилган.

микропрофилини юқори рухсат берилган сезувчанликда фарқлаш ва юқори аниқликда тасвирлаш, шунингдек ўрганилаётган сиртни компьютер экранида лаҳзада кўриш мумкин. 10-расмда тишлари ён сиртига абразив оқимли ишлов берилмаган сканирланган микропрофил тақдим этилган. Микропрофиль таҳлили мос равишда узунлиги 49,8 мкм, нотекисликлар максимал баландлиги  $H=0,143 \text{ мкм}$ , нотекисликлар чўққилар бўйича ўртача қадами  $S=9 \text{ мкм}$ ни кўрсатди. Линтерлашда шунга ўхшаш сирт микропрофили пахта чигитининг



12-расм. Рентгенли дифракция микроскопияси методида сканерланган линтер арралари тишини чўққисининг микропрофили



а) б)

горизонтал бўйича а) – 104,8 мкм;  
вертикал бўйича б) – 106,9 мкм

13-расм. Линтер арралари тиши чўққиси ва унинг яқини ён сирти микропрофили сканерлангани ва горизонтали бўйича сканер узунлиги билан сирт ўта нотекисликларни профилограммаси

бўшлиққа тушиши орасидаги қиймати:  $d_p$  – пахта толасининг ҳисобий диаметри,  $\mu\text{m}$  эга бўлади. Чизиқли зичлиги  $T=0,13\dots0,22 \text{ teks (mg/m)}$  бўлган пахта толасининг ҳисоблаш диаметри аниқланди ва қуйидаги формула бўйича бажарилди:

$$d_p = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\delta}}, \text{ mm} \quad (14)$$

бу ерда  $\delta$  – элементар пахта толасининг ўртача зичлиги бўлиб, у  $0,9 - 1,3 \text{ mg/mm}^3$  га тенг.

Пахта толасини  $\delta$  зичлиги ва  $T$  чизиқли зичлиги нисбатининг боғлиқлиги келтирилган ораликлар учун пахта толасининг ҳисобланган қиймати  $11,3\dots17,7 \text{ мкм}$  қийматдаги ораликда бўлади. Чунки  $d_p$  тола диаметри нотекисликлар учлари қадамидан  $S$  кичик, доимий айланишдаги арралар пахта чигити сиртидаги момиқнинг бир қисмини қириб олишида ёнма-ён нотекисликлар баландликлари орасидаги бўшлиққа тушиб қолиши, унинг тукдорлиги камайишига олиб келади ва линтерлаш жараёнини жадаллаштиради. Пахта чигити ишлов берилмаган арра тишлари билан бир марта ишқаланиб контактлаштирилгандан сўнг

Ишлов берилмаган тишлар сиртидан олинган баландлик ва қадам микропрофиль параметрлари пахта толасининг кўндаланг ўлчами билан тенглаша олмайди, шунинг учун фаоллаштириш иложсиз. Линтерлаш жараёни моҳиятига асосланиб, арра тишларининг ён сиртини фаоллаштириш усуллари сирт микропрофилини экспериментал тадқиқот маълумотларини ҳисобга олган ҳолда таҳлил қилиб, технологик шартини тузамиз:

$$S \geq nd_p, \text{ мкм} \quad (13)$$

Линтер арра тиш ён сирти фаоллашиши ҳисобига линтерлаш жараёнини жадаллаштириш мумкин бўлган имкониятларни характерлайди. Бунда аниқловчи ролига нотекисликларнинг баландликлари бўйича ўртача қадами  $S$  ва  $n=1,2,3,\dots$  - толалар сони, сирт нотекисликларининг тиқилиб ёнма-ён



а)

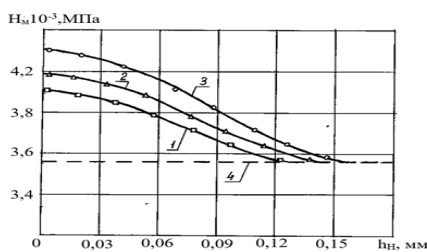


б)

(а) ишлов берилмаган;  
(б) абразив оқимли ишлов берилган

14-расм. Линтер аррали диск тишларини қамраб олиш усули (14,а-расм), кутилганидек





1 -  $p=2$  atm; 2 -  $p=3$  atm; 3 -  $p=4$  atm; 4 -  $H_n$  дастлабки ҳолатда, 3560 МПа га тенг. Абразив ишлов бериш бурчаги  $\alpha=45^\circ$ ; ишлов бериш вақти  $t=2$  min.  
15-расм. Абразив оқимли ишлов беришда У8Г пўлатнинг  $p$  босим билан боғлиқлиги сирт қатламининг  $h_n$  чуқурлиги бўйича  $H_n$  микроқаттиқликни ўзгариши

асосан тишларнинг қирраларида тўпланади. Абразив оқимли ишлов берилгандан сўнг (14,б-расм) тишларнинг ён сиртида кўп миқдорда толалар тўпланганлиги кузатилади, шунингдек тишлар сиртида шакллангандир микропрофиль нотекикликлари фаоллашиши бу ҳақиқатда аниқ исботланди.

Металл сиртларига абразив оқимли ишлов бериш, доимгидек механик ишлов бериш жараёни, пластик деформация шартини амалга оширишда, мустаҳкамлик деформацияси (пухталаш) самараси муқаррар содир бўлади.

Микроқаттиқлик  $H_n$  махсус намуна-қия микрошлифда (қия қирқим) аниқланиб, аррадан қирқиб олинган ва сирт қатламининг

ҳар хил чуқурликдаги микроқаттиқлигини ўлчаш учун ПМТ-3 приборида олмосли пирамидада юклаш қиймати 0,98 N га етди,  $p=4$  atm ҳаво босимида ўлчанганда  $H_n^{max} = 4420$  МПа ( $N/mm^2$ ) максимал қиймати 24,2% ташкил этди, дастлабки микроқаттиқлик  $H_n^{исх} = 3560$  МПа эди. Пухталаш чуқурлиги  $h_n$   $p=4$  atm да 0,162 mm га тенг.  $p$  босимни ошириш билан пухталаш даражаси ва чуқурлик ҳам ошади (рис.15): босим  $p=2$  дан 4 atm гача ошганда микроқаттиқлик  $H_n$  4020 дан 4420 МПа гача ошади, пухталаш чуқурлиги эса  $h_n$  0,13 дан 0,162 mm гача ошади. Шундай қилиб, ишлов берилган сиртга абразив зарралар таъсир кучининг ошиши ҳаво босимининг ортиши сабабли, пухталаш даражасининг қиймати  $U=12,9$  дан  $U=24,2$  % гача ошади, пухталаш градиентининг қиймати 99,23...149,38 %/mm мос равишда оралиқда бўлади.

Линтер арра тишларининг сирт қатламини пухталаш, улардан фойдаланиш шароитида абразив ейилишга қаршилигини ошишига имкон яратади, чунки бу линтерлар учун жуда муҳим, техник регламентга (белгиланган вақтга) кўра, линтер аррасининг ишлаш қобилияти жин арраси билан солиштирилганда камроқ ва уларга бўлган эҳтиёж жин арраларига қараганда анча катта.

Тўртинчи бобда “Абразив зарралар оқими билан ишлов берилган линтерлар учун арраларни ишлаб чиқаришга жорий қилиш ва ишлаб чиқаришда синаш” арра тишларига абразив оқимли ишлов берилган корхона линтер арраларини ишлаш қобилиятини ишлаб чиқариш маълумотлари натижалари билан солиштириш. Тошкент вилоятининг Пискент пахта тозалаш корхонасини жин-линер цехида 5ЛП линтерига, абразив оқимли ишлов берилган линтер арралари ўрнатилди. Ишлаб чиқариш синовлари линтер арраларида кўлда терилган С-6524 селекциясининг намлиги 9% ½ навли пахта хом ашёсидан жинлашдан сўнг олинган чигитда ўтказилди. Синов дастурига мувофиқ арра тишларига қора кремний карбидли абразив зарраларни йўналтириш орқали ишлов берилган

ва ишлов берилмаган иккита линтер бир вақтнинг ўзида (бир варакайига) ишга туширилди (16-расм).



а) – ишлов берилмаган (корхонаники);  
б) – абразив зарралар оқимида ишлов берилган

16-расм. Линтер учун аррали дисклар

Чигитнинг ва момикнинг сифатини (учта намунадан) ўртача кўрсаткичлари таҳлил қилиганда, тишларига аввалдан абразив заррачалар билан ишлов берилган линтер арралари муҳим афзалликларни кўрсатди, бу эса яратилган қулай микропрофиль туфайли тиш ён сиртларини фаоллашишига ёрдам беради (жадвал).

Жадвал

Чигит сифатини лаборатория текширувининг таққослаш натижалари

№ т.р.	Чигит кўрсаткичлари номи	Олиб борилган текширишлар	
		Тажриба арралари	Корхона арралари
1.	Механик шикастланиш, %	0,9	1,2
2.	Ифлосланиш, %	0,2	0,2
3.	Намлик, %	7,8	7,8
4.	Тукдорлик, %	5,5	6,8

Бундан кўринадики, чигитлардаги механик шикастланиш 0,9% ни ташкил этди, бу эса корхона линтери арраси билан линтерлашдан 25% га кам. Чигитларнинг тукдорлиги 5,5% ни ташкил этди, бу эса шунга ўхшаш тишларига ишлов берилмаган корхона арраси билан линтерлаш кўрсаткичидан 20% га кам. 17-расмда бир вақтнинг ўзида ишга туширилган линтер машиналарининг 24 соат мобайнида линтерлашидан сўнг пахта чигитини солиштириш келтирилган. Тўхтаган вақтдаги линтер ишчи зонаси синчиклаб текширилганда, линтер аррасининг тишлари яхши ҳолатда эканлиги тўғрисида маълумотда абразив ишлов беришдан кейин сирт қатламининг мустаҳкамликка ва абразив ейилишга юқори даражада қаршилик кўрсатиши намоён бўлганлигига эришилди. Аввалдан тишларига қора кремний карбидли абразив заррачалар билан йўналтириш орқали ишлов берилган линтер арраларининг узоқ муддат ишлаши 96 соатдан кўпроғини ташкил этди, бу эса ишлов берилмаган корхона арралари узоқ муддат ишлашидан икки



а) – корхона аррали дискларини линтерлаши; б) – тишларига абразив оқимли ишлов берилгандан кейинги аррали дискларини линтерлаши  
17-расм. Линтерлаш жараёнини тажрибавий текширишини таққослашда кўринишини баҳолаш

баравар кўп. Шундай қилиб, линтерлар учун арралар тишларининг ён сиртига абразив оқимли ишлов беришни қўллаш орқали ишлов берилган сиртда қулай микропрофил яратилишига олиб келиниши, юқори самарадорликка эришилганлиги тўғрисида маълумотлар келтирилди ва уларни фаоллаштириш линтерлаш жараёнини жадаллаштиришга имконият яратди.

Бўка ва Пискент пахта тозалаш корхоналарида 5 ЛП линтери учун қора кремний карбидли абразив заррачалар билан йўналтириш орқали ишлов берилган линтер арраларини жорий қилиш натижасида умумий йиллик иқтисодий самарадорлик 129402,65 минг сумни ташкил этди.

## ХУЛОСА

1. Абразив ишлов бериш пайтида ташқи ишқаланишнинг дислокацияси модели асосида металл сирти микропрофили ғадир-будирлиги баландликларининг ( $H_{\text{ysl}}=3,28...11,71 \text{ мкм}$ ) параметрлари учун сонли ва аналитик боғлиқлик муносабатлари олинди ва микронотекисликларни шаклланиш механизми ишлаб чиқилди.

2. Тажрибаларни режалаштиришнинг математик усулидан фойдаланиб, кодланган ўзгарувчилар билан нотекисликлар баландлиги учун регрессия тенгламаси  $y = 1,85 + 0,15x_1 + 0,3x_2 + 0,25x_1x_2$  ва табиий қийматлари ( $p$  – ҳаво босими;  $\alpha$  – ишлов бериш бурчаги):  $H = 2,3 - 0,35p - 0,031\alpha + 0,017p\alpha$ , мкм тенгламаси тузилди. Ушбу тенгламадан фойдаланиб, нотекисликлар баландлиги учун интерполяция формуласи сифатида  $H$  қийматлари абразив оқимли ишлов беришнинг ҳар хил тартиблари учун ҳисобланди ва графиклар тузилди.

3. Атомли кучлар микроскопиясидан фойдаланиб, арра тишлари ён сиртининг тасвирга олинган (сканерланган) кесими ўрганилганда, ишлов берилмаган линтер арралари учун максимал нотекисликлар баландлиги  $H=0,143 \text{ мкм}$ , сканер (тасвирга олиш) узунлиги  $49,8 \text{ мкм}$  бўлганида микронотекисликлар учларининг ўртача қадами  $S=8...9 \text{ мкм}$  дан ошмаганлиги, сканер (тасвирга олиш) узунлиги  $7.36 \text{ мкм}$  бўлганида ушбу параметрлар қиймати мос равишда  $H=0,132...0,522 \text{ мкм}$ ,  $S=1...2,5 \text{ мкм}$  бўлиши аниқланди.

4.  $49,8$  ва  $69,7 \text{ мкм}$  узунликдаги бир хил тасвирга олиш (сканерлаш) узунлиги оралиғида абразив оқим билан ишлов берилгандан кейин тишларнинг микропрофили нотекисликлар баландлигининг характерловчи максимал қийматлари мос равишда  $2.68$  ва  $2.64 \text{ мкмга}$  тенг (ишлов берилмаган тишларга қараганда қиймати юқори) нотекисликлар баландлиги қадами эса  $20 \text{ мкмдан}$  кўпроғини ташкил этади ва шу билан тиш ён сиртини фаоллаштириш орқали линтерлаш жараёнини жадаллаштириш учун етарли шароитлар яратади.

5. Абразив оқимли ишлов беришда микропрофиль нотекисликларини ҳосил қилиб чигитдан қўшимча калта толаларни қириб олиши ҳисобига тишларнинг ён сиртларига технологик шароит ( $S \geq nd_p$ ) яратилди. Ишлов

берилмаган арра тишлари чигитдан қириб олган момиклар асосан тишнинг учида тўпланганлиги тажрибавий исботланган. Абразив оқим билан ишлов берилгандан кейин тишларнинг ён сиртидаги ҳосил бўлган микронотеkisликлар кўп миқдордаги момикларни қириб олиши кузатилган.

6. Абразив оқимли ишлов бериш механик ишлов беришнинг тўлиқ-мустаҳкамлаш турига киради, талаб этилган сирт микропрофили шакллантирилганда арра тишларининг устки қатламида деформациянинг мустаҳкамлаши содир бўлади. Тажрибалар шуни кўрсатдики, ПМТ-3 микроқаттиқлик ўлчагичида “қия кесиш” усули билан ўлчанадиган  $H_c$  микроқаттиқлик,  $H_c = 4020$  дан  $H_c = 4420$  МПа гача ошади, пухталаш даражаси эса –  $U=12,9\dots24,2\%$  ўзгаради, пухталаш чуқурлиги  $h=0,13$  дан  $h=0,162$  mm гача ошди, пухталаш градиенти -  $U=99,23\dots149,38\%$  қийматлар диапазонида (оралиғида), сиқилган ҳаво босимининг ошиши  $p=2$  дан  $p=4$  atm гача бўлади.

7. Ишлаб чиқариш шароитидаги мустаҳкамланган тишларнинг юқори қаттиқлик ва абразив ейилишга қаршилигини ҳамда юқори ишлаш қобилиятини кўрсатди. Линтер арраларини узоқ муддат ишлаши, тишларга қора кремний карбиди ҚҚ абразив зарраларни йўналтириб ишлов берилгандан кейин 96 соатдан кўпроғини, бу техник регламентга мувофиқ ишлов берилмаган корхона арраларининг узоқ муддат ишлашидан икки бараваридан кўпроғини ташкил қилди.

8. Бўка ва Пискент пахта тозалаш корхоналарининг цехлардаги ишлаб чиқариш тажриба-синовлари жараёнида таққосланганда, линтер арра тишларига абразив зарралар оқими билан олдиндан ишлов берилганлари, ишлов берилмаганларга нисбатан катта афзалликларга: чигитлардаги механик шикастланиши 0,9% (25%гача кам), чигитларнинг тукдорлиги 5,5% (20%гача кам) эга эканлиги аниқлади.

9. 5 ЛП линтери учун тадбиқ этилган линтер арраларнинг тишларига қора кремний карбидли ҚҚ абразив зарраларни йўналтириб ишлов берилганда, йиллик иқтисодий самарадорлиги 129402,65 минг сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.08.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ  
ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ШОДМОНКУЛОВ ЗОХИР АБДУРАХИМОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ АБРАЗИВО-СТРУЙНОЙ  
ОБРАБОТКЕ ЗУБЬЕВ ПИЛЬНЫХ ДИСКОВ ЛИНТЕРНЫХ МАШИН С  
ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ**

**05.02.03 – Технологические машины. Роботы, мехатроники и  
робототехнические системы**

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

**Ташкент – 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2018.2.PhD/Т743.

Диссертация выполнена в Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен в веб-сайте Ташкентского института текстильной и легкой промышленности ([www.titli.uz](http://www.titli.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Шин Илларион Георгиевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Бахадиров Гайрат Атаханович**  
доктор технических наук, профессор

**Сулаймонов Рустам Шенникович**  
доктор технических наук, СИС

**Ведущая организация:**


**Джиззакский политехнический институт**


Защита диссертации состоится «05» 08 2020 года в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.08.01 при Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности по адресу: 100100., г. Ташкент, ул. Шохжахон-5, Административное здание Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, 2 этаж, 222-аудитория, тел. (+99871) 253-06-06, 253-08-08, факс 253-36-17, e-mail: [titlp\\_info@edu.uz](mailto:titlp_info@edu.uz)).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института текстильной и легкой промышленности (зарегистрирована №80). (Адрес: 100100, г. Ташкент, ул. Шохжахон – 5, тел. (+99871) 253-06-06, 253-08-08.

Автореферат диссертации разослан «30» 07 2020 года.  
(реестр протокола рассылки №80 от «29» 07 2020 года).



  
**Б.Онорбоев**  
председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н.

  
**А.Гуламов**  
ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н.

  
**Ш.Хакимов**  
председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.т.н.

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Хлопковое волокно, являясь основным сырьем для производства продукции текстильной промышленности, занимает ведущее место на современном рынке среди натуральных волокон. По данным международного консультативного комитета по хлопку (ICAC) странами, лидирующими по импорту хлопкового волокна, были признаны Бангладеш, Вьетнам, Китай, Турция, Индонезия, Пакистан<sup>1</sup>. Производство конкурентоспособной продукции в мировом масштабе основывается на непрерывном и устойчивом развитии хлопкоочистительной промышленности республики, внедрении современных технологических оборудований в предприятиях отрасли и эффективном использовании производственных мощностей.

В мировой практике важное место занимают научно-исследовательские работы по совершенствованию техники и технологии по первичной обработке хлопка.

В Стратегии действий развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в частности, по «...повышению конкурентоспособности национальной экономики, уменьшение расходов энергии и ресурсов, широкое внедрение энергосберегающих технологий...»<sup>2</sup>. В том числе, повышение эксплуатационной надежности хлопкоперерабатывающих машин за счет обеспечения высокого качества поверхности деталей рабочих органов является важным научным направлением, требующим дальнейшего всестороннего исследования. Одной из этих задач является повышение надежности основной детали рабочего органа линтера – пильных дисков и интенсификация процесса линтерования.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, Постановление Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «Об интенсификации физического обновления и износа оборудования промышленных предприятий, а также дополнительных мерах по снижению себестоимости продукции и других нормативно - правовых актов» от 22 декабря 2016 года, Постановление Кабинета Министров Узбекистан «О мерах по внедрению современных форм организации хлопково-текстильного производства» а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Исследованию качества поверхности деталей механизмов и машин после механической обработки и упрочняющих технологий посвящены работы ряда зарубежных ученых

<sup>1</sup> Cotton: World Statistics. <http://www.ICAC.org>; <http://www.statica.com>.

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП 4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан»

E.Tomsen, Ch.Yang, Sh.Kobayashi, E.M.Trent, X.Opits, I.Armarego, R.X.Braun, S.V.Serensen, Б.А.Кравченко, Д.Д.Папшев, А.А.Маталин, А.Д.Макаров, В.К.Старков, А.М.Сулима, А.Н.Овсеенко, А.Г.Суслов и др.

При обработке деталей рабочих органов технологических машин предложены различные технологические процессы по обеспечению прочностных свойств. По развитию этого научного направления значительный вклад внесли ученые: Р.Г.Махкамов, И.Г.Шин, Э.М.Абдул-Раззаков, М.Г.Хамов, А.П.Рогов, А.М.Ахмедов и др.

Исследованиями таких ученых, как М.В. Покрас, П.Т. Махкамов, А.Д. Бекмухамедов, И.Т. Максудов, Э.К. Нуралиев, Б.Я. Кушакеев, Р.Ш. Сулайманов и др. решены ряд важнейших вопросов, связанных с изучением геометрических характеристик и износа кромок зубьев лентерных пил, влиянием дефектов зубьев пил на качество лентерования, процессом съема лент с зубьев пил, совершенствованием системы транспортирования и конденсирования лент на хлопкозаводах, совершенствованием технологии процессов лентерования хлопковых семян и очистки лент. Однако вопросы повышения эффективности лентерования за счет активизации и интенсивного участия передних и боковых поверхностей зубьев пильных дисков не нашли своего решения из-за недостаточности научных исследований.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках планах научно-исследовательских работ Ташкентского института текстильной и легкой промышленности по государственному научно-техническому инновационному проекту ИОТ-2013-5-28 «Повышение работоспособности и прогнозирование долговечности ответственных деталей машин первичной обработки хлопка по квалиметрии их поверхностного слоя после динамического упрочнения дробью».

**Целью исследования** является активизация зубьев пильных дисков абразивоструйной обработкой их боковых поверхностей для интенсификации и улучшения процесса лентерования.

**Задачи исследования:**

разработать в условиях ударного контактного взаимодействия абразивной частицы и обрабатываемой детали механизм формирования микронеровностей поверхности на основе дислокационных представлений пластической деформации металлов при абразивоструйной обработке и получить аналитическое решение для определения высотного параметра шероховатости;

выполнить научное обоснование выбора рациональных параметров режима абразивоструйной обработки зубьев пильных дисков;

методом математического планирования экспериментов получить уравнение регрессии для высоты неровности обработанной поверхности в зависимости от режимных параметров: давления сжатого воздуха  $p$  и угла атаки  $\alpha$  абразивных частиц;



изучить параметры микропрофиля боковой поверхности зубьев методом атомно-силовой и рентгеновской дифракционной микроскопией, определить значения максимальной высоты неровности и шага неровностей по вершинам;

обосновать технологическое условие активизации боковых поверхностей зубьев, приводящей к дополнительному срезу коротких волокон с семян, а также исследовать эффект деформационного упрочнения, возникающего при абразивоструйной обработке;

произвести опытно-промышленную проверку и сравнительные производственные испытания, а также внедрение пильных дисков для линтеров с обработанными зубьями в потоке абразивных частиц.

**Объектом исследования** является пильный диск одноименного цилиндра в рабочей камере линтера 5 ЛП.

**Предметом исследования** является качество поверхностного слоя и создание технологических условий для активизации боковых поверхностей зубьев пильных дисков за счет формирования на них микропрофиля поверхности, полученной в результате абразивоструйной обработки.

**Методы исследования.** В исследовании использованы методы теоретической и прикладной механики, теория дислокаций из физики твердого тела, теория упругости и пластичности, гипотезы прочности и разрушения, экспериментальные методы атомно-силовой и рентгеновской дифракционной микроскопии.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны механизм и модель формирования микронеровностей поверхности, учитывающие дислокационную основу пластической деформации металлов при абразивоструйной обработке;

получено аналитическое решение для расчета высоты неровности микропрофиля обработанной поверхности;

выявлены закономерности изменения высотного параметра шероховатости в зависимости от режимных параметров абразивоструйной обработки;

получен диапазон значений параметров деформационного упрочнения (глубины и степени наклепа), соответствующего при обработке металлических поверхностей зубьев пильных дисков потоком абразивных частиц.

**Практические результаты исследования** состоят в следующем:

доказана высокая эффективность процесса абразивоструйной обработки зубьев линтерных пил частицами из карбида кремния черного КЧ за счет создания регулируемого и благоприятного микропрофиля с высотным и шаговым параметрами, способствующими активизации боковых поверхностей зубьев и интенсификации процесса линтерования семян;

процесс линтерования с обработанными зубьями пильных дисков обеспечивает улучшение качества продукции: уменьшается опушенность на 20%, снижается механическая поврежденность семян на 25%;

абразивоструйная обработка зубьев линтерных пил кроме благоприятного микропрофиля поверхности создает, как результат пластической деформации металла при микрорезании-царапании, деформационное упрочнение, характеризующееся глубиной и степенью упрочнения, которые увеличивают работоспособность пил более, чем в два раза по сравнению с заводскими.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается обоснованным выбором математических и физических моделей для описания контактного взаимодействия при ударе абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью, соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами апробации и внедрения пильных дисков для линтеров после абразивоструйной обработки.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов диссертационной работы состоит в доказательстве возможности интенсификации и улучшения процесса линтерования за счет активизации боковых поверхностей зубьев пильных дисков сформированным микропрофилем поверхности с высотным и шаговым параметрами, образуемыми при направленной обработке абразивными частицами КЧ.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что достигнуто повышение качественных показателей процесса линтерования: снижение опушенности семян, уменьшение их механической поврежденности, а также увеличение долговечности пильных дисков за счет деформационного упрочнения поверхностного слоя зубьев после абразивоструйной обработки.

**Внедрение результатов исследования.** На основании научных результатов, полученных в ходе исследовательской работы по изучению технологических возможностей ударных процессов механической обработки свободными твердыми телами, в частности, абразивоструйной обработки:

внедрены пильные диски для линтеров с обработанными зубьями в потоке абразивных частиц из карбида кремния черного в Букинском и Пискентском хлопкоочистительных заводах Ташкентской области (справка АО «УзПАХТАСАНОАТ» от 25 марта 2019 года № 02-18/1854). В результате внедрения повысилась эффективность линтерования за счет улучшения качественных показателей семян (снижение на 25% повреждаемости, уменьшение опушенности на 20%) и увеличилась работоспособность линтерных пильных дисков более, чем в два раза;

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республика Узбекистан на метод двухстороннего

поверхностного динамического упрочнения абразивными частицами зубьев пильных дисков (“Аппарат для обработки деталей абразивными частицами” FAP 01140 -2016 г.). В результате увеличился в 2-3 раза срок службы пильных дисков.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 21 международных и 12 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 13 научных работ в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, получены 2 патента Республики Узбекистан на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем диссертации составляет 135 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность проведения исследования, характеризуется объект и предмет исследования, приоритетное направление развития науки и технологий Республики, излагается научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ упрочняющих технологий зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин и пути интенсификации процесса линтерования**» приведены данные по методам обработки и упрочняющих технологий зубьев пильных дисков, обеспечивающим повышение их долговечности и работоспособности за счет улучшения качественных показателей поверхностного слоя рабочих участков зубьев, а также сведения по интенсификации процесса линтерования изменением геометрии и расположением части зубьев относительно плоскости диска. Наряду с этим, исследования по активизации боковых поверхностей зубьев до настоящего времени не проводились, что подтверждает актуальность и востребованность настоящей работы.

Вторая глава диссертации «**Разработка теоретических основ формирования качества поверхностного слоя при абразивоструйной обработке деталей машин**» посвящена разработке механизма формирования микронеровностей обработанной поверхности на базе дислокационных представлений пластической деформации металлов в процессе абразивоструйной обработки боковых поверхностей зубьев пильных дисков для линтеров.

Абразивоструйная обработка металлических поверхностей деталей машин в соответствии с классификацией методов механической обработки

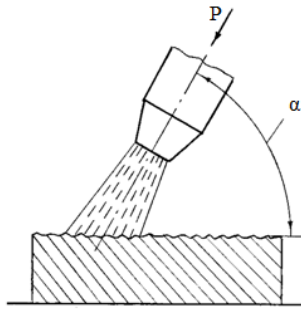


Рис.1. Схема струйного (воздушного, жидкостного) метода обработки (шлифования) свободным абразивом при угле атаки  $\alpha$

относится к шлифованию со свободным абразивом, совокупность которых направляется на обрабатываемую поверхность под определенным углом  $\alpha$  (угол атаки) под давлением  $p$  сжатого воздуха или в составе антикоррозионной жидкости (гидроабразивная обработка) (рис.1).

На рис.2 дана схема процесса микрорезания единичным

свободным абразивом, имеющим округленный режущий элемент (радиус округления  $\rho$ ) и вступающим в контакт с обрабатываемым материалом после удара под давлением сжатого воздуха с дальнейшим перемещением (скольжением) царапающего элемента. Разложив силу  $P_{уд}$  на составляющие  $P_z$  и  $P_y$ , устанавливаем, что сила  $P_z$  срезает стружку, а сила  $P_y$  прижимает царапающий элемент к обрабатываемой поверхности. В процессе царапания происходит пластическая деформация металла впереди царапающего элемента в зоне  $A_1, A_2$ , по бокам ( $L_1, L_2$ ) и ниже линии среза  $H_1, H_2$ . Если толщина снимаемого слоя  $a_2 > a_1$ , то  $A_2 > A_1, L_2 > L_1, H_2 > H_1$ . Снятие стружки при поступательном перемещении абразивной частицы возможно, если в плоскости сдвига скалывающие (сдвигающие) напряжения  $\tau$  больше истинного сопротивления пределу текучести обрабатываемого материала срезу (сдвигу)  $\tau_{сдв}$ :  $\tau \geq \tau_{сдв}$ .

Таким образом, пластическая деформация, возникающая при контактном взаимодействии абразивной частицы с металлической поверхностью обрабатываемой детали, является ответственной за конечное состояние ее поверхностного слоя, характеризуемое комплексом геометрических и физико-механических параметров.

У металлов процесс пластической деформации в основном осуществляется путем скольжения (перемещения в плоскости скольжения) отдельных линейных несовершенств (нарушений) дислокаций в пространственной кристаллической решетке. Обладая

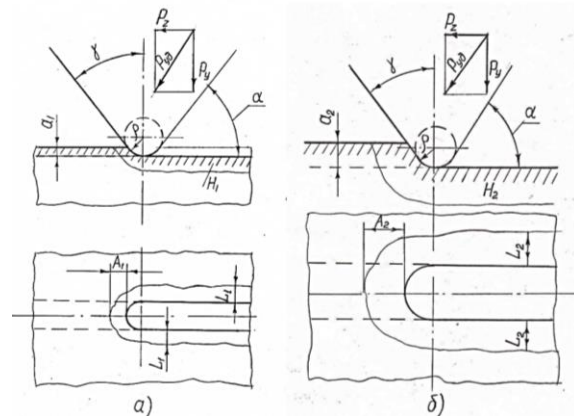


Рис.2. Схема микрорезания (царапания) обрабатываемого материала округленным режущим элементом ( $\rho = \text{const}$ ): а – при малой толщине снимаемого слоя  $a_1$ ; б – при большой толщине снимаемого слоя  $a_2$

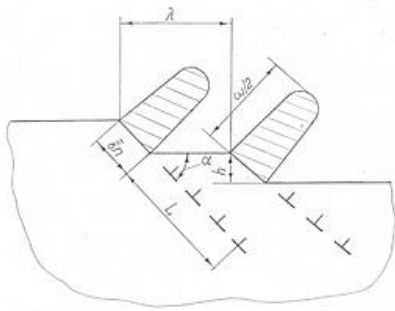


Рис.3. Модель образования ступеньки при выходе дислокаций на поверхность кристаллита:

$h = \bar{b}ns \sin \alpha$  – высота ступеньки по нормали к поверхности трения;  
 $\alpha$  – угол наклона плоскости скольжения;  $\lambda$  – расстояние между дислокациями;  
 $\omega$  – ширина дислокационной петли

рядом достоинств, теория дислокаций в силу своей универсальности позволяет исследователям связать микро- и макропредставления процесса пластической деформации металлов через такие параметры, как модуль сдвига, коэффициент Пуассона, вектор Бюргерса, плотность дислокаций, нормальное и касательное напряжения, предел текучести. Выход дислокаций на поверхность металла приводит к формированию микропрофиля в виде множества ступенек сдвига, влияющих на образование силы внешнего трения и соответствующих поэтому характеру изучения коэффициента трения.

Высоту ступеньки сдвига (рис.3), равную произведению вектора Бюргерса  $\bar{b}$  на количество генерированных дислокационных петель  $n$ , можно рассчитать по формуле

$$\bar{b}n = \frac{\pi L \tau (1-\nu)}{G}, \text{ мм} \quad (1)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига, МПа;  $\nu=0,3$  (для стали) – коэффициент Пуассона;  $G=0,8 \cdot 10^5$  МПа – модуль сдвига;  $L$  – длина скольжения дислокаций, см;  $\bar{b} = 2,5 \cdot 10^{-10}$  м – вектор Бюргерса.

С учетом угла наклона плоскости скольжения  $\alpha$  высота ступеньки по нормали к поверхности трения составит

$$h = \bar{b}ns \sin \alpha = \frac{\pi \Sigma L \tau (1-\nu) \sin \alpha}{G} \quad (2)$$

Для аналитического описания процесса образования микропрофиля с шероховатостью поверхности при абразивоструйной обработке предложен параметр  $H_{\text{усл}}$  – условная высота неровностей обрабатываемой поверхности, сопоставимая с одним из стандартных высотных параметров шероховатости поверхности ( $R_{\text{max}}$  – максимальная высота неровности, мкм). При суммировании высоты всех ступенек сдвига получим высоту неровности:

$$H_{\text{усл}} = \sum_{i=1}^n h_i = \frac{\pi \Sigma L \tau (1-\nu) \sin \alpha}{G}, \quad (3)$$

В формуле (3)  $\Sigma L$  является суммарной длиной всех дислокационных линий, которую целесообразно выразить через плотность дислокаций  $\rho_d$ , определяемую по формуле

$$\rho_d = \frac{\Sigma L}{V}; \quad \Sigma L = \rho_d \cdot V, \quad (4)$$

где  $V$  – объем пластически деформируемой зоны при контакте абразивной частицы с металлом.

С учетом зависимости (4) выражение для условной высоты неровности (3) принимает вид:

$$H_{\text{усл}} = \frac{\pi \rho_d V \tau (1-\nu) \sin \alpha}{G} \quad (5)$$

Таким образом, для расчета условной высоты неровностей  $H_{усл}$  по формуле (5) необходимо предварительно определить плотность дислокаций  $\rho_d$ , объем пластически деформированной зоны  $V$  и напряжение сдвига  $\tau$ .

По данным исследований Боудена Ф.Л. и Тейбора Д. напряжения вокруг единичного контакта при трении подобны напряжениям, возникающим при статическом внедрении. С учетом этого обстоятельства, а также принимая близость деформационных процессов, проявляемых при стандартом измерении твердости вдавливанием, полагаем равными плотности дислокаций при внедрении индентора и при его движении по абсолютно гладкой поверхности пластически деформируемого тела. Следовательно, приравняв работу вдавливания индентора и энергию дислокаций, получим

$$Nh_c = \frac{G\bar{b}^2 V \rho_d}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \alpha) \ln \frac{1}{\bar{b}\sqrt{\rho_d}}, \quad (6)$$

где  $N$  – нормальная нагрузка (нормальная составляющая силы удара при абразивоструйной обработке);  $h_c$  – глубина статического внедрения индентора.

Выразив из соотношения (6)  $\rho_d V$  и подставив в формулу (5), получим

$$H_{усл} = \left( \frac{2\pi(1-\nu)}{G\bar{b}} \right)^2 \frac{\sin \alpha}{(1-\nu \cos^2 \alpha)} \cdot \frac{Nh_c \tau}{\ln \frac{1}{\bar{b}\sqrt{\rho_d}}} \quad (7)$$

В соответствии с картиной контактного взаимодействия при ударе абразивной частицы по металлической поверхности (рис.4) можно записать следующие зависимости:

$$P_y = P_{уд} \sin \alpha_y = N; \tau = P_z / A_2 = \frac{2P_{уд} \cos \alpha_y}{R^2(2\theta - \sin 2\theta)}, \quad (8)$$

где  $A_2 = \frac{1}{2}R^2(2\theta - \sin 2\theta)$ ;  $R$  – радиус

сферической частицы, мм;  $d$  – диаметр упругопластического контакта, мм;

$\theta$  – половинный угол при вершине конуса, рад;  $\alpha_y$  – угол атаки, град.

Таким образом, основываясь на фундаментальных сведениях о механизме пластической деформации металлов, механике контактного взаимодействия при ударе абразивной частицы о металлическую преграду и теории формирования качества поверхностного слоя, получена формула для расчета условной высоты неровностей поверхности при абразивоструйной обработке боковых поверхностей зубьев лентерных пил:

$$H_{усл} = \left( \frac{2\pi(1-\nu)}{G\bar{b}} \right)^2 \frac{\sin \alpha}{(1-\nu \cos^2 \alpha)} \cdot \frac{P_{уд}^2 \sin 2\alpha_y}{R^2(2\theta - \sin 2\theta)} \cdot \frac{h_c}{\ln \frac{1}{\bar{b}\sqrt{\rho_d}}} \quad (9)$$

где  $h_c$  – максимальная глубина статического внедрения индентора находится из уравнения движения сферической частицы в обрабатываемой среде при допущении постоянства среднего давления сопротивления внедрению или среднего давления течения (физического предела текучести  $\sigma_T$ ):

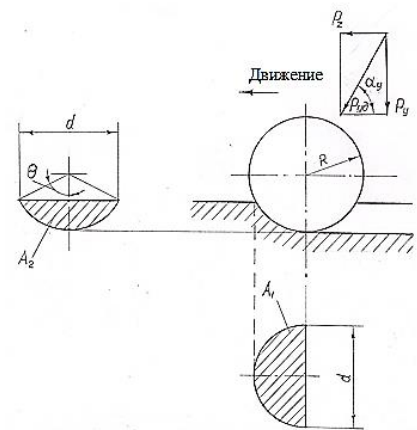


Рис.4. Царапание твердой сферической частицы по пластичному материалу:  $A_1$  – поверхность контакта;  $A_2$  – поперечное сечение канавки

$$h = v_0 D \sqrt{\frac{\rho_M}{6\sigma_T}}, \text{ мм} \quad (10)$$

где  $\rho_M = 7,8 \text{ г/см}^3$  плотность обрабатываемого материала;  $\sigma_T = 800 \text{ МПа}$  – предел текучести стали У8Г;  $v_0 = 7,83 \dots 15,66 \text{ м/с}$  – скорость абразивной частицы при давлении сжатого воздуха  $p = 1 \dots 4 \text{ атм}$ .

Расчетные значения высоты неровностей, полученные при изменении таких параметров, как диаметр частицы  $D = 0,6 \dots 1,0 \text{ мм}$ , давление сжатого воздуха  $p = 1 \dots 4 \text{ атм}$  и зависящие от них производные параметры (сила удара  $P_{уд}$ , глубина внедрения  $h$ , половинный угол контакта  $\Theta$ , напряжения сдвига  $\tau$ ) составил диапазон значений  $N_{усл} = 3,28 \dots 11,71 \text{ мкм}$ . Значения  $N_{усл}$  могут



Рис.5. Экспериментальная (заводская) абразиво-струйная камера и ее

технические характеристики:

- 1) габариты рабочей зоны, мм –  $1070 \times 1350 \times 1100$ ;
- 2) рабочее давление, МПа –  $0,2 \dots 0,4$  ( $2 \dots 4 \text{ атм}$ );
- 3) расход сжатого воздуха,  $\text{м}^3/\text{мин}$  –  $0,6 \dots 1,5$ ;
- 4) объем бункера для абразива, л – 50;
- 5) способ транспортировки абразива к соплу-эжекторная;
- 6) производительность,  $\text{м}^2/\text{час}$  –  $5 \dots 20$

изменяться в зависимости от локальности рассматриваемой поверхности в силу вероятностного характера контактного взаимодействия абразивных частиц с боковой поверхностью зубьев линтерных пил, вызывающего качественные и количественные трансформации микропрофиля обработанной поверхности.

В третьей главе диссертации **«Экспериментальные исследования состояния поверхностного слоя зубьев пильных дисков после абразивоструйной обработки»** приведены результаты структурных исследований микропрофиля обработанной поверхности зубьев линтерных пил современными методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Экспериментальные исследования по изучению состояния поверхностного слоя деталей, формируемого при абразивоструйной обработке, были проведены на пескоструйном аппарате (рис.5), установленным и эксплуатирующийся в механическом цехе ООО «GAUCH» (НПО «Технолог»).

В диссертационной работе в качестве абразивного материала для абразивоструйной обработки зубьев пильных дисков был принят карбид кремния черный (КЧ).

Данный материал имеет наибольшее распространение и доступен в промышленности, имеет высокие режущие свойства и поэтому применяется при изготовлении шлифовальных кругов для обработки металлов с низким и средним значением предела прочности на разрыв (сталь, чугун, бронза). Основные физико-механические свойства карбида кремния черного: микротвердость –  $3300 \dots 3600 \text{ Н/мм}^2$ ; плотность –  $3,20 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$ ; абразивная способность зерна №16 по стеклу – 0,4; насыпная масса зерна №40 –  $1,48 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$ ; теплоустойчивость –  $1300 \dots 1400^\circ\text{C}$ .

Экспериментальные исследования абразивоструйной обработки были проведены абразивами карбида кремния черного зернистостью 40. Условия и режимы обработки были следующими: давление воздуха  $p=1...4$  атм ( $0,1...0,4$  МПа); угол атаки  $\alpha=30...60^\circ$ . Материал пильных дисков – углеродистая инструментальная сталь У8Г (временное сопротивление разрыву  $\sigma_b=1150$  Н/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение  $\delta=6\%$ , твердость НРА 67-70).

С учетом данных графика на рис.6 выбран угол атаки  $\alpha=45^\circ$ , обеспечивающий максимальный износ, а, следовательно, и благоприятный микропрофиль для активизации боковых поверхностей зубьев линтерных пил.

Для установления аналитической зависимости высотного параметра шероховатости от основных режимных характеристик абразивоструйной обработки зубьев линтерных пил были проведены исследования с использованием математического метода планирования эксперимента. В качестве входных параметров (факторов) были приняты: давление  $p$ , атм; угол атаки  $\alpha$ , град. Время обработки оставалось постоянным и равным 2 мин. Выходной параметр – условная высота неровности  $H$ , мкм.

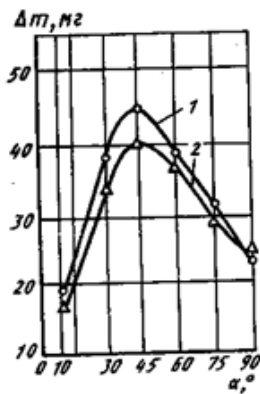


Рис.6. Зависимость износа  $\Delta m$  сталей после нормализации от угла атаки  $\alpha$ :  
1 – У7; 2 – У10

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии с кодированными переменными

$$y = 1,85 + 0,15x_1 + 0,3x_2 + 0,25x_1x_2, \quad (11)$$

которое после перехода от кодированных значений  $x_1$ ,  $x_2$  факторов к натуральным (давление  $p$ , угол атаки  $\alpha$ ) принимает вид

$$H = 2,3 - 0,35p - 0,03\alpha + 0,017p\alpha, \text{ мкм} \quad (12)$$

Подтверждение адекватности уравнения (11) позволяет использовать его как интерполяционную формулу для вычисления высоты неровностей при абразивоструйной обработке зубьев линтерных пил (рис.7, рис.8). Как следует из графиков, с увеличением силового фактора (давления воздуха  $p$ ) наблюдается существенный рост высоты неровностей и составляет  $H=1,47...3,18$  мкм при давлении  $p=4$  атм и угле атаки  $\alpha=60^\circ$ . Для структурных исследований металлической поверхности после абразивоструйной обработки была применена атомно-силовая микроскопия с помощью сканирующего зондового микроскопа Agilent – 5500 в условиях научной лаборатории Института химии и физики полимеров АН РУз.



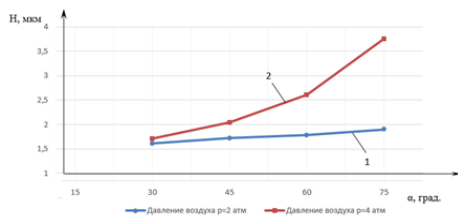


Рис.7. Зависимость высоты неровности  $H$  от угла атаки  $\alpha$  при абразивоструйной обработке зубьев пильных дисков для линтеров: 1 – давление воздуха  $p=2$  атм; 2 – давление воздуха  $p=4$  атм

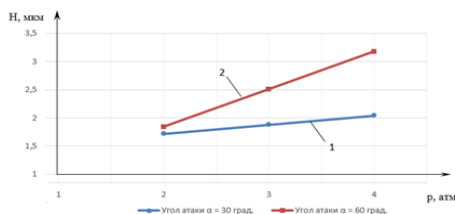


Рис.8. Зависимость высоты неровности  $H$  от давления воздуха  $p$  при абразивоструйной обработке зубьев линтерных пил: 1 – угол атаки  $\alpha=30^{\circ}$ ; 2 – угол атаки  $\alpha=60^{\circ}$

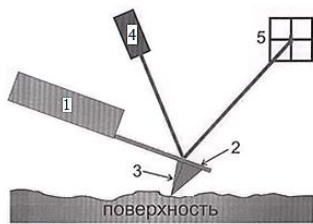


Рис.9. Устройство зондового датчика атомно-силового микроскопа:

- 1 – чип (основание);
- 2 – балка (консоль);
- 3 – зондирующая игла;
- 4 – лазер системы детектирования;
- 5 – фотодиод системы

В работе применялись кремниевые кантилеверы жесткостью при изгибе, равным  $9,5 \text{ Н/м}^2$  с частотой  $145 \text{ кГц}$ , которые входят в устройство зондового датчика (рис.9) атомно-силового микроскопа, отличающегося высокой разрешающей способностью и точностью воспроизведения микропрофиля поверхности, а также мгновенной визуализацией исследуемой поверхности на мониторе компьютера.

На рис.10 представлен сканированный микропрофиль боковой поверхности зубьев без абразивоструйной обработки. Анализ микропрофиля, соответствующей длине  $49,8 \text{ мкм}$ , показал, что максимальная высота неровностей составляет  $H=0,143 \text{ мкм}$ , средний шаг неровностей по вершинам  $S=9 \text{ мкм}$ . Подобная поверхность микропрофиля при контакте с массой хлопковых семян при линтеровании не способна активизироваться и участвовать в дополнительном срезании оставшихся волокон, т.к. размеры локальных контактных участков не соизмеримы с поперечным размером  $d$  хлопковых волокон и в соответствии с классификацией схем взаимодействия волокна с неровностями металлической поверхности имеем случай, когда  $S/d > 1$ . В результате абразивоструйной обработки боковых поверхностей зубьев пильных дисков для линтера получена иная качественная и количественная картина сканированных профилей поверхностей (рис.11). В пределах длины сканирования  $49,8$  и  $69,7 \text{ мкм}$  зафиксированы максимальные значения высоты неровностей, равных соответственно  $2,68$  и

$2,64 \text{ мкм}$ , что на порядок больше, чем на необработанных зубьях. Главным результатом абразивоструйной обработки является образование микропрофиля поверхности со значительным шагом неровности по вершинам ( $S > 20 \text{ мкм}$ ), превосходящим несколько раз соответствующий шаг необработанных зубьев и сопоставимым с диаметром хлопковых волокон.

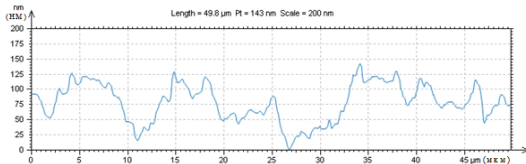


Рис.10. Сканированный профиль боковой поверхности зуба без обработки, длина сканирования 49,8 МКМ

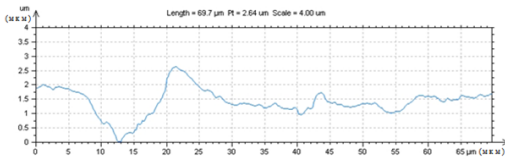


Рис.11. Сканированный профиль боковой поверхности зубьев лентерных пил после абразивоструйной обработки (давление  $p=3$  атм, угол атаки  $\alpha=45^0$ )

Отсутствие микротрещин и относительно однородная структура поверхностного слоя свидетельствуют о должном качестве зубьев пильного диска. На рис.13 показаны сканированные участки боковой поверхности зуба лентерной пилы в двух взаимно перпендикулярных направлениях через определенную точку при различной длине траектории (светлая полоска на снимках). Полученные высотные и шаговые параметры микропрофиля поверхности необработанных зубьев не соизмеримы с поперечным размером хлопкового волокна и поэтому их активизация затруднена. Основываясь на сущности процесса лентерования и, анализируя способы активизации боковых поверхностей зубьев пильных дисков с учетом данных экспериментальных исследований микропрофиля поверхности, составлено технологическое условие:

$$S \geq nd_p, \text{ мкм} \quad (13)$$

которое характеризует потенциальные возможности процесса интенсификации лентерования за счет активизации боковых поверхностей зубьев. При этом определяющая роль принадлежит среднему шагу  $S$

Таким образом, микропрофилем обработанной поверхности созданы благоприятные условия ( $S/d \geq 1$ ) для активизации боковых поверхностей зубьев и вовлечения их в процесс лентерования. Экспериментальные исследования по изучению качества зубьев лентерных пил в исходном состоянии были проведены в Ташкентском Учебно-экспериментальном центре высоких технологий на рентгеновском дифрактометре EMPYREAN XDR (XDR – 6100, 2 кВт тип). Методом рентгеновской дифракционной микроскопии получен отсканированный профиль вершины зуба лентерной пилы (рис.12).

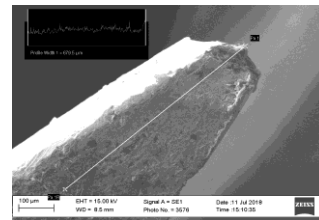
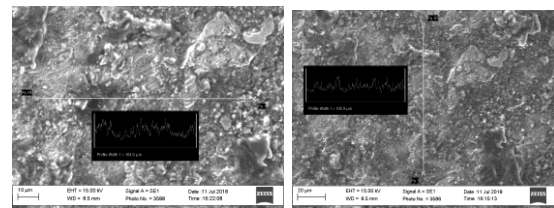


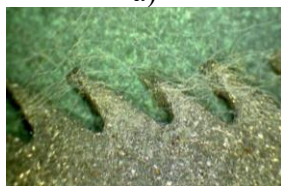
Рис.12. Сканированный микропрофиль вершины зуба лентерной пилы методом рентгеновской дифракционной микроскопии



а) б)  
Рис.13. Сканированный микропрофиль боковой поверхности зуба лентерной пилы вблизи его вершины и профилограмма поверхности с субмикронеровностями с длиной сканирования: по горизонтали а – 104,8 мкм; по вертикали б – 106,9 мкм



а)



б)

Рис.14. Захватывающая способность зубьев пильного диска: необработанные (а) и обработанные потоком абразива (б)

неровностей по вершинам и  $n=1,2,3,\dots$  - число волокон, попадающих в пространство между смежными пиковыми значениями неровности поверхности:  $d_p$  – расчетный диаметр хлопкового волокна, мм. Определение расчетного диаметра хлопковых волокон с линейной плотностью  $T=0,13\dots0,22$  текс (мг/м), выполнено по формуле:

$$d_p = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\delta}}, \text{ мм} \quad (14)$$

где  $\delta$  – средняя плотность элементарного хлопкового волокна, равная  $0,9 - 1,3$  мг/мм<sup>3</sup>.

В зависимости от соотношения линейной плотности  $T$  и плотности  $\delta$  хлопкового волокна для приведенных диапазонов их значений

расчетный диаметр волокна находится в интервале значений  $11,3\dots17,7$  мкм. Так как диаметр волокон  $d_p$  меньше шага неровностей  $S$  по вершинам, то попадая в пространство между смежными высотами неровностей при непрерывном вращении пильного диска часть волокон срезается с хлопковых семян, что приводит к уменьшению их опушенности и повышению интенсивности линтерования. На необработанных зубьях после контакта при однократном притире пильного диска с семенами хлопка (рис.14,а) волокна, как и ожидалось, сконцентрированы в основном на вершине зуба. На зубьях после абразивоструйной обработки (рис.14,б) большое количество волокон зафиксировано на боковых поверхностях, что убедительно подтверждает факт активизации этих поверхностей образованными неровностями микропрофиля зубьев.

Абразивоструйная обработка металлических поверхностей, как всякий процесс механической обработки, реализуемой в условиях пластической деформации, сопровождается неизбежным эффектом деформационного упрочнения (наклепа). Микротвердость  $H_\mu$  определяли на специальных образцах–наклонных микрошлифах («косой срез»), позволяющих фиксировать микротвердость на различных глубинах поверхностного слоя с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой на алмазную пирамиду  $0,98$  Н. Степень наклепа достигает наибольшего значения при давлении воздуха  $p=4$  атм и составляет  $24,2\%$ , а максимальная  $H_\mu^{max} = 4420$  МПа (Н/мм<sup>2</sup>) при исходной микротвердости  $H_\mu^{исх} = 3560$  МПа. Глубина наклепа  $h_n$  при  $p=4$  атм равна  $0,162$  мм. Глубина и степень наклепа возрастают с увеличением давления  $p$  (рис.15): с увеличением давления от  $p=2$  до  $4$  атм микротвердость  $H_\mu$  возрастает от  $4020$  до  $4420$  МПа, а глубина наклепа  $h_n$  - от  $0,13$  до  $0,162$  мм. Таким образом, с возрастанием давления воздуха вследствие увеличения силового воздействия абразивных частиц на обрабатываемую поверхность, степень наклепа повышается от значения  $U=12,9$  до  $U=24,2$  %, а градиент наклепа соответственно находится в диапазоне  $99,23\dots149,38$  %/мм.

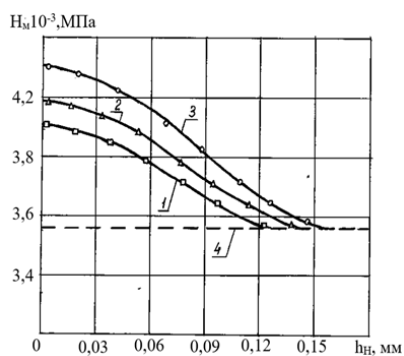


Рис.15. Изменение микротвердости  $H_{\mu}$  по глубине поверхностного слоя  $h_n$  стали У8Г в зависимости от давления  $p$  при абразивоструйной обработке:  
 1 -  $p=2$  атм; 2 -  $p=3$  атм; 3 -  $p=4$  атм; 4 -  $H_{\mu}$  в исходном состоянии, равная 3560 МПа.  
 Угол атаки абразива  $\alpha=45^{\circ}$ ; время обработки  $t=2$  мин.

в джинно-линтёрном цехе вилоята. Производственные испытания линтёрных пил проводили на хлопковых семенах, полученных после джинирования хлопка-сырца ручного сбора сорта  $\frac{1}{2}$  селекции С-6524 влажностью 9%. В соответствии с программой испытаний одновременно запускались два линтёра с необработанными и обработанными зубьями в потоке абразивных частиц из карбида кремния черного (рис.16).

Анализ средних значений (из трех проб) качества семян и линта показал существенные преимущества линтёрных пил с предварительно обработанными зубьями потоком абразивных частиц, способствующих активизации боковых поверхностей зубьев за счет сформированного благоприятного микропрофиля (табл.).

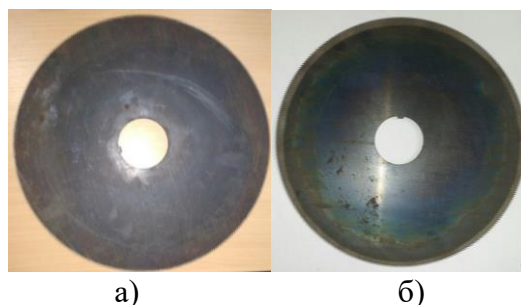


Рис.16. Пильные диски для линтёров:  
 а – необработанные (заводские);  
 б – обработанные в потоке абразивных частиц

Таблица

Результаты сравнительных лабораторных исследований качества семян

№ п.п.	Наименование показателей семян	Данные исследований	
		экспериментальные пилы	заводские пилы
1.	Механическая поврежденность, %	0,9	1,2
2.	Засоренность, %	0,2	0,2
3.	Влажность, %	7,8	7,8
4.	Опушенность, %	5,5	6,8

Наклеп поверхностного слоя зубьев линтёрных пил способствует повышению их сопротивляемости абразивному износу в эксплуатационных условиях, что для линтёров очень актуально, так как по техническому регламенту работоспособность линтёрных пил меньше, чем джинные и потребность их существенно больше по сравнению с пильными дисками для джинов.

В четвертой главе «Производственные испытания и внедрение в производство пильных дисков для линтёров, обработанных потоком абразивных частиц» даны результаты сравнительных испытаний работоспособности заводских линтёрных пил и пил с абразивоструйной обработкой зубьев. Линтёрные пилы после абразивоструйной обработки были установлены на линтёре 5ЛП

Пискентского хлопкозавода Ташкентского

Так, механическая поврежденность семян составила 0,9%, что на 25% меньше по сравнению с линтерованием заводскими пилами. Опушенность семян равна 5,5%, которая на 20% меньше подобного показателя при линтеровании заводскими пилами без обработки зубьев. На рис.17 для сравнения приведены хлопковые семена после линтерования в течение 24 часов на машинах, запущенных одновременно. Тщательный осмотр рабочей зоны линтера в момент останова свидетельствует о хорошем состоянии зубьев линтерных пил, прошедших абразивоструйную обработку и имеющих упрочненный поверхностный слой, оказывающий высокую сопротивляемость абразивному износу. Долговечность линтерных пил с



а) б)

Рис.17. Визуальная оценка и сравнение данных экспериментальных исследований процесса линтерования: а – линтерование заводскими пильными дисками; б – линтерование пильными дисками после абразивоструйной обработки зубьев

предварительно обработанными зубьями в потоке абразивных частиц из карбида кремния черного составила более 96 часов, что в 2 раза больше долговечности заводских пил без обработки. Таким образом, получено убедительное доказательство высокой эффективности применения абразивоструйной обработки боковых поверхностей зубьев пильных дисков для линтеров, которое выразилось в создании благоприятного микропрофиля обработанной поверхности, способствующей их

активизации и интенсификации процесса линтерования.

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения пильных дисков для линтеров 5ЛП на Букинском и Пискентском хлопкоочистительных заводах, обработанных потоком абразивных частиц из карбида кремния черного, составил 129402,65 тыс. сум.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан механизм формирования микронеровностей и получена аналитическая зависимость и численные соотношения высотного параметра шероховатости ( $H_{усл}=3,28...11,71$  мкм) микропрофиля металлической поверхности на основе дислокационной модели внешнего трения при обработке свободным абразивом.

2. Методом математического планирования эксперимента получены уравнения регрессии для высоты неровности с кодированными переменными  $y = 1,85 + 0,15x_1 + 0,3x_2 + 0,25x_1x_2$  и натуральными величинами ( $p$  – давление воздуха;  $\alpha$  – угол атаки):  $H = 2,3 - 0,35p - 0,031\alpha + 0,017p\alpha$ , мкм. Используя полученное уравнение высоты неровности как интерполяционную формулу, вычислены значения  $H$  при различных режимах абразивоструйной обработки и получены соответствующие графические зависимости.

3. Методом атомно-силовой микроскопии изучены сканированные профили боковой поверхности зубьев и установлено, что для пильных дисков без обработки максимальная высота неровности равна  $H=0,143$  мкм, а средний шаг микронеровностей по вершинам не превосходит  $S=8...9$  мкм на длине сканирования 49,8 мкм. При длине сканирования 7,36 мкм указанные параметры принимают соответственно значения  $H=0,132...0,522$  мкм,  $S=1...2,5$  мкм.

4. После абразивоструйной обработки получены максимальные значения высоты неровности, соответственно равной 2,68 и 2,64 мкм (на порядок больше, чем необработанные зубья) при длине сканирования 49,8 и 69,7 мкм, а шаг неровностей по вершинам составляет более 20 мкм и тем самым создаются достаточные условия для интенсификации процесса линтерования активизацией боковых поверхностей зубьев.

5. Составлено технологическое условие ( $S \geq nd_p$ ) активизации боковых поверхностей зубьев за счет дополнительного среза коротких волокон с семян образовавшимися неровностями микропрофиля при абразивоструйной обработке. Экспериментально доказано, что на необработанных зубьях пильных дисков срезанные волокна с семян в основном сконцентрированы на вершине зуба. На зубьях после абразивоструйной обработки большое количество волокон после их среза зафиксированы на боковых поверхностях с образовавшимися микронеровностями.

6. Так как абразивоструйная обработка относится к отделочно-упрочняющим видам механической обработки, то кроме формирования требуемого микропрофиля поверхности происходит деформационное упрочнение поверхностного слоя зубьев. Экспериментами показано, что микротвердость  $H_\mu$  измеренная методом «косых срезов» на приборе микротвердомере ПМТ-3, увеличилась от  $H_\mu=4020$  до  $H_\mu=4420$  МПа, а степень наклепа –  $U=12,9...24,2\%$ , глубина наклепа возросла от  $h=0,13$  до  $h=0,162$  мм, градиент наклепа – в диапазоне значений  $U=99,23...149,38\%$  при увеличении давления сжатого воздуха от  $p=2$  до  $p=4$  атм.

7. Упрочненные зубья с повышенной микротвердостью показали высокую работоспособность и сопротивляемость абразивному износу в эксплуатационных условиях. Долговечность линтерных пил, прошедших обработку зубьев в потоке абразивных частиц из карбида кремния черного КЧ составила более 96 часов, что в два раза превышает долговечность заводских пил без обработки в соответствии с техническим регламентом.

8. Сравнительными производственными испытаниями в джинно-линтерном цехах Букинского и Пискентского хлопкозаводах установлены существенные преимущества линтерных пил с предварительно обработанными зубьями потоком абразивных частиц по сравнению с необработанными: механическая поврежденность семян составила 0,9% (меньше на 25%), опушенность семян равна 5,5% (меньше на 20%).

9. Годовой экономический эффект от внедрения пильных дисков для линтера 5 ЛП, зубья которых обработаны потоком абразивных частиц из КЧ, составил 129402,65 тыс. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.T.08.01 AT TASHKENT INSTITUTE OF TEXTILE AND  
LIGHT INDUSTRY**

---

**TASHKENT INSTITUTE OF TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY**

**SHODMONKULOV ZOKHIR ABDURAXIMOVICH**

**TECHNOLOGICAL PROVIDE OF QUALITY A SURFACE LAYER AT  
ABRASIVE-JET PROCESSING OF TEETH OF SAW DISKS OF THE  
LINTER MACHINES WITH THE PURPOSE OF INCREASE OF THEIR  
WORKING CAPACITY**

**05.02.03 – Technological machines. Robots, mechatronics  
and robotics systems**

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

**Tashkent – 2020**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) of technical science dissertation was registered by at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2018.2.PhD/T743.**

The dissertation is carried out at Tashkent institute of textile and light industry.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on web-page of Scientific Council at the address ([www.titli.uz](http://www.titli.uz)) and information-educational portal Ziyonet at the address ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Shin Illarion Georgievich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Baxadirov Gayrat Ataxanovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Sulaymonov Rustam Shennikovich**  
doctor of technical sciences, Senior Researcher

**Leading organization:** **Djizzax polytechnic institute**

The defense of the dissertation will take place on «5» 08 2020 at hours at a meeting of Scientific Council DSc.03/30.12.2019.T.08.01 at Tashkent Institute of textile and light industry (Address: 100100, Tashkent, Yakkasaroy district, str. Shokhjakhon-5, administrative building, 222 audience, tel. (+99871) 253-06-06, 253-08-08, a fax: 253-36-17; e-mail: [titli\\_info@edu.uz](mailto:titli_info@edu.uz).)

The dissertation could be reviewed at the Information-resource center (IRC) of Tashkent Institute of textile and light industry (registration number ).

(Address: 100100, Tashkent, Yakkasaroy district, str. Shokhjakhon-5, tel. (99871) 253-06-06.)

Abstract of the dissertation sent out on «30» 07 2020 year.  
(mailing report №80 on «29» 07 2020 year).



**B.Ochilboev**  
Chairman of the Scientific Council on  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences

**A.Gulamov**  
Scientific secretary of the scientific council  
award scientific degrees,  
doctor of technical sciences

**Sh.Xakimov**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is the activation of the teeth of saw blades by abrasive blasting of their side surfaces to intensify and improve the lintering process.

**The object of the research work** is a saw blade of the same cylinder in the working chamber of the linter 5 LP.

**Scientific novelty of the research work** is following:  
a mechanism and model for the formation of surface microroughnesses have been developed that take into account the dislocation basis of plastic deformation of metals during abrasive blasting;

an analytical solution was obtained to calculate the height of the roughness of the microprofile of the treated surface;

regularities of changes in the altitude roughness parameter are revealed depending on the operational parameters of abrasive blasting;

a range of values of strain hardening parameters (depth and degree of hardening) obtained during the processing of metal surfaces of teeth of saw blades by a stream of abrasive particles is obtained.

**Implement of research results.** On the base of scientific results obtained during the research work on the study of the technological capabilities of impact processes of machining with free solids, in particular, abrasive blasting:

saw blades for linters with machined teeth in the stream of black silicon carbide abrasive particles were introduced in the Bukin and Piskent ginneries of the Tashkent region (certificate of UzPAKHTASANOAT AO dated March 25, 2019 No. 02-18 / 1854). As a result of the introduction, the efficiency of lintering increased due to an improvement in the quality of seeds (a 25% reduction in damageability, a decrease in pubescence by 23%) and the working capacity of the linter saw blades increased by more than two times;

a patent for usefull model of Agency on intellectual property of the Republic of Uzbekistan for method of bilateral surface of dynamic reinforcing by buckshot saw disks' teeth ("Apparatus for machining parts with abrasive particles" FAP 20140159, 2016) obtained;

**The structure and volume of the** The dissertation consists of an introduction four chapters, a conclusion, a list of literature and an appendixes. The volume of dissertation is 135 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Максудов Р.Х., Шин И.Г. Производственные испытания джинных пил, упрочненных дробеметной обработкой зубьев // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2013, №3. – С. 15 – 18. (05.00.00; №17).

2. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Метод расчета на прочность и долговечность джинных пил при циклическом погружении // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2013, №3. – С. 94 – 98. (05.00.00; №17).

3. Шин И.Г., Назаров С.Р., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р. Поверхностное упрочнение дробью зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // Вестник машиностроения. – Москва, 2014, №7. – С. 81 – 85. (05.00.00; №13).

4. Шин И.Г., Максудов Р.Х., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Дислокационная модель формирования технологических остаточных напряжений в деталях машин и оценка их интенсивности // Вестник машиностроения. – Москва, 2014, №9. – С. 30 – 34. (05.00.00; №13).

5. Шин И.Г., Муминов М.Р., Назаров С.Р., Шодмонкулов З.А. Аналитические выражения энергетических процессов при ударном поверхностно-пластическом деформировании дробью металлических поверхностей // Вестник машиностроения. – Москва, 2014, №9. – С. 28 – 30. (05.00.00; №13).

6. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р. Оценка скрытой энергии деформации в поверхностном слое деталей по диаграмме деформирования материалов // Вестник машиностроения. – Москва, 2014, №12. – С. 15 – 20. (05.00.00; №13).

7. Мадрахимов Д.У., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Анализ операции вырубki зубьев джинно-линтeрных пил на основе формoобразования заусенцев на их поверхностях // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2017, №2. – С. 20 – 28. (05.00.00; №17).

8. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Шин И.Г. Определение прогиба зуба джинной пилы при эксплуатационных нагрузках // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2017, №3. – С. 4 – 9. (05.00.00; №17).

9. Мадрахимов Д.У., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Абдуллажанов А.А. Теоретико-экспериментальное определение усилия деформирования при вырубке зубьев пильного диска хлопкоперерабатывающих машин // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2018, №1. – С. 99 – 106.

10. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Расчетная модель износа джинных пил на основе данных экспериментальных исследований // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2018, №3. – С. 7 – 13.

11. Шодмонкулов З.А. Реновация прочностных свойств джинно-линтeрных пил с обезуглероженным поверхностным слоем зубьев // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2018, №3. – С. 59 – 65.

12. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Повышение эффективности дробеударного упрочнения зубьев пильных дисков джинов с помощью переменных параметров режима обработки // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2018, №4. – С. 7 – 12.

13. Shodmonkulov Zokhir Abdurakhimovich, Atakhanov Abdumutolib Abdupattaevich, Gulamov Azamat Eshonkulovich, Shin Illarion Georgievich // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Tehnology Vol. 6, Issue 8, August 2019. P. 6.

#### **14. II бўлим (II часть; II part)**

15. Патент UZ №FAP 01140. Аппарат для обработки деталей абразивными частицами // Шин И.Г., Джураев А.Д., Муминов М.Р., Назаров С.Р., Шодмонкулов З.А. // Расмий ахборотнома.- 2016, -№10

16. Патент UZ №FAP 00869. Джинная пила // Джураев А.Д., Шин И.Г., Максудов Р.Х., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. // Расмий ахборотнома.- 2014, -№1

17. Патент UZ №FAP 00962. Алмазный выглаживающий инструмент // Шин И.Г., Джураев А.Д., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р. // Расмий ахборотнома.- 2014, -№11

18. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Анализ работоспособности пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // Инженерия поверхности и реновация изделий: 12-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2012. – С. 346 – 350.

19. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Расчет глубины наклепа поверхностного слоя деталей при ультразвуковой обработке // Конференция ТТЕСИ, «Ўзбекистонда энгил саноатни инновациялар асосида ривожлантиришнинг долзарб масалалари», Республика илмий-амалий конференцияси, II-қисм Илмий мақолалар тўплами, 29-30 ноябрь 2012 й., Тошкент, – С. 63 – 65.

20. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Расчет глубины наклепа при ультразвуковой обработке деталей машин // Инженерия поверхности и реновация изделий: 12-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2012. – С. 204 – 206.

21. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Нуруллаева Х.Т., Шин И.Г. Анализ напряженного состояния в поверхностном слое деталей машин с учетом технологических остаточных машин // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 13-й Международный научно – технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2013. – С. 141 – 144.

22. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Максудов Р.Х., Шин И.Г. Износостойкость упрочненных пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин в эксплуатационных условиях // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 13-й Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2013. – С. 138 – 141.

23. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Напряженное состояние при действии сосредоточенной силы, приложенной на границе полубесконечного тела // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 13-й Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2013. – С. 248 – 251.

24. Муминов М.Р., Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Сапаев У.А. Термодинамика контактного взаимодействия при дробеударном упрочнении деталей машин // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Международная научно-техническая конференция. – Одесса, 2013. – С. 113-116.

25. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Нуруллаева Х.Т. О взаимосвязи интенсивности остаточных напряжений и дислокационной структуры поверхностного слоя деталей при механической обработке // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. – Международная научно-техническая конференция. – Одесса, 2013. – С. 199-204.

26. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Разработка и внедрение динамического метода упрочнения дробью зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // Развитие и стимулирование высокотехнологического производства – важнейшее условие обеспечения конкурентоспособности экономики Узбекистана: законодательство, практика и проблемы: Республиканская научно – практическая конференция. – Ташкент, 2013. – С. 114 – 116.

27. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Определение запасенной энергии деформации при резании металлов на основе теории дислокаций // Инженерия поверхности и реновация изделий. 13-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2013. – С. 303 – 305.

28. Шин И.Г., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Наклеп поверхностного слоя деталей при ультразвуковой обработке // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: 13-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2013. – С. 192 – 194.

29. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Назаров С.Р., Шин И.Г. О влиянии скрытой энергии деформации при механической обработке на параметры качества обработанной поверхности деталей машин // Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциялашуви шароитида инновацион технологияларнинг долзарб муаммолари: Республика илмий-амалий конференцияси. – Тошкент, 2013. – С. 73 – 76.

30. Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Нуруллаева Х.Т. Уровень удельной запасенной энергии деформации при поверхностно-пластическом деформировании деталей // Конференция Ассоциация технологов-машиностроителей Украины «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» Материалы 14-го Международного научно-технического семинара (24-28 февраля 2014 г., г. Свалява, Карпаты) С.269-272.

31. Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Шин И.Г. Расчет интенсивности технологических остаточных напряжений в твердых сплавах по схематизированной диаграмме деформирования материалов // Конференция Ассоциация технологов-машиностроителей Украины «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» Материалы 14-го Международного научно-технического семинара (24-28 февраля 2014 г., г. Свалява, Карпаты) С.272-274.

32. Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Назаров С.Р. Определение интенсивности напряжений при статическом ППД деталей под действием нагрузки, распределенной по «полушару» // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 14-й Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2014. – С. 266 – 268.

33. Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р. Анализ тепловых потоков при обкатывании и алмазном выглаживании деталей машин // Международной молодежной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и процессы» Сборник научных статей (25-26 сентября 2014 г., г. Курск, Россия) С. 272-276.

34. Касимов Б.М., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Оценка запасенной энергии деформации при статическом поверхностно-пластическом

деформировании деталей машин // Сборник трудов XI-й МНТК «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» Том 2, Курск, 2014, – С. 171-174.

35. Шин И.Г., Назаров С.Р., Шодмонкулов З.А. Особенности деформационного упрочнения чугуновых деталей хлопкоперерабатывающих машин // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности Материалы докладов научно-технической конференции (26-27 ноября 2014 г., УО «ВГТУ» Витебск, Белорусия) С. 301-303.

36. Шодмонкулов З.А. Назаров С.Р., Шин И.Г. Схематизация нагружения в виде равномерно распределенной нагрузки по площади круга при статическом ППД // Юго-Западный государственный университет (Россия)

XII –ой Международной научно-практической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» Сборник научных трудов (19-20 марта 2015 г., г. Курск, Россия) С. 295-297.

37. Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Повышение работоспособности хлопкоперерабатывающих машин алмазным выглаживанием шеек рабочих валов пильного цилиндра // Юго-Западный государственный университет (Россия) Материалы Международной научно-технической конференции «Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов» Сборник научных трудов (2-3 октября 2015 г., г. Курск, Россия) С.360-362.

38. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Схема теплообмена при поверхностном пластическом деформировании обкатыванием // «Инженерия поверхности и реновация изделий» Посвящается 80-летию со дня рождения академика НАН Беларуси П.А. Витязя Материалы 16-го Международной научно-технической конференции. Киев, 2016, – С. 104-107.

39. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Назаров С.Р., Шин И.Г. Структурная модель для описания деформационных свойств микронеоднородного материала при контактном взаимодействии с инструментом // «Инженерия поверхности и реновация изделий» Посвящается 80-летию со дня рождения академика НАН Беларуси П.А. Витязя Материалы 16-го Международной научно-технической конференции. Киев, 2016, – С. 180-183.

40. Назаров С.Р., Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Экспериментальное исследование глубины и степени деформационного упрочнения поверхностного слоя зубьев джидных пил // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте (22-26 февраля 2016 г., г. Свалява, Карпаты) Киев, 2016, – С. 178-180.

41. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Расчетный метод определения остаточных напряжений по схематизированной диаграмме деформирования обрабатываемых материалов // Конференция Наманган мухандислик-технология институти, «Ўзбекистон Республикасида тўқимачилик, пахта тозалаш ва энгил саноат корхоналарида жаҳон талабларига мос равишда маҳсулот ишлаб чиқаришда техника технологияларнинг аҳамияти», илмий-амалий анжумани, I-қисм Маъруза материаллари тўплами, Наманган, 2016, – С. 58-61.

42. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Дробеметное упрочнение деталей хлопкоочистительных машин на промышленной установке УДП-2-3.5 // Министерство образования и науки Украины «Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении» Материалы международной научно-технической конференции. Одесса, 2016, – С. 125-127.

43. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Мадрахимов Д.У. Обоснование оптимального технологического зазора между пуансоном и матрицей при вырубке зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // Конференция ТТЕСИ, «Техника ва технологияларни модернизациялаш шароитида иқтидорли ёшларнинг инновацион ғоялари ва ишланмалари», Республика илмий-амалий конференцияси, Тошкент, 2017 й., – С. 105-108.

44. Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А., Абдуллажонов А.А. Оценка деформации зубьев джинной пилы при технологических нагрузках // Конференция ТТЕСИ, «Техника ва технологияларни модернизациялаш шароитида иқтидорли ёшларнинг инновацион ғоялари ва ишланмалари», Республика илмий-амалий конференцияси, Тошкент, 2017 й., – С. 109-112.

45. Шодмонкулов З.А. Обоснование угла атаки абразивов при абразивно-струйной обработке зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // (Конференция ТТЕСИ, «Фан, таълим, ишлаб чиқариш интеграциялашуви шароитида пахта тозалаш, тўқимачилик, энгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш инновацион технологиялари долзарб муаммолари ва уларнинг ечими» I -қисм, I, II, III – ШЎЪБАЛАР, Республика илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами, (16-17 май 2018 й. Тошкент)). С.120-123.

46. Шодмонкулов З.А., Шин И.Г., Абдуллажанов А.А. Интенсификация процесса линтерования абразивно-струйной обработки зубьев пильных дисков // (Конференция ТТЕСИ, «Фан, таълим, ишлаб чиқариш интеграциялашуви шароитида пахта тозалаш, тўқимачилик, энгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш инновацион технологиялари долзарб муаммолари ва уларнинг ечими» I -қисм, I, II, III – ШЎЪБАЛАР, Республика илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами, (16-17 май 2018 й. Тошкент)). С.123-125.

47. Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Шин И.Г. Определение интенсивности износа зубьев дисковых пил джинов в эксплуатационных условиях // (Конференция ТТЕСИ, «Пахта тозалаш, туқимачилик, энгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш техника- технологияларни модернизациялаш шароитида иқтидорли ёшларнинг инновацион ғоялари ва ишланмалари » I, III, V – ШЎЪБАЛАР, Республика илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами, (12-13 декабрь 2018 й. Тошкент)) С.63-66.

48. Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р. Восстановление работоспособности линтерных пил с дефектным обезуглероженным поверхностным слоем зубьев // (Конференция ТТЕСИ, «Пахта тозалаш, туқимачилик, энгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш техника-технологияларни модернизациялаш шароитида иқтидорли ёшларнинг инновацион ғоялари ва ишланмалари » I, III, V – ШЎЪБАЛАР, Республика илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами, (12-13 декабрь 2018 й. Тошкент)) С. 66-68.

49. Shodmonkulov Z.A., Shin I.G. Improvement of efficiency of drobeudarian strengthening of the teeth of drinking drives of gins with the variable parameters of the processing mode // SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT #16 Barcelona 29.04.2019- 30.04.2019 (P. 300-302).

50. Шодмонкулов З.А., Шин И.Г. Атомно – силовая микроскопия поверхностей зубьев линтерных пил после абразивоструйной обработки // Конференция ТТЕСИ, «Фан, таълим, ишлаб чиқариш интеграциялашув шароитида пахта тозалаш, тўқимачилик, энгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш инновацион технологиялари долзарб муаммолари ва уларнинг ечими» I, III, V – ШЎЪБАЛАР, Республика илмий – амалий анжумани мақолалар тўплами, (16-17 май 2019 й. Тошкент)) С. 138-141.

Автореферат «Тўқимачилик муаммолари» – техник журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнлар мослиги текширилди (17.07.2020 й.).

Босишга рухсат этилди:27.07.2020 йил.  
Бичими 60x45 1/8, «Times New Roman»  
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3. Адади: 80. Буюртма №49.  
ТТЕСИ босмаҳонасида чоп этилди.  
Тошкент шаҳри, Шохжаҳон кўчаси, 5-уй.

