

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
16.07.2013.Т.06.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ

ШИН ИЛЛАРИОН ГЕОРГИЕВИЧ

**ПАХТАНИ ДАСТЛАБКИ ИШЛАШ МАШИНАЛАРИ ДЕТАЛЛАРИНИНГ
СИФАТИНИ ТАЪМИНЛАШ ВА ЧИДАМЛИЛИГИНИ БАШОРАТ
ҚИЛИШНИНГ ТЕХНОЛОГИК МЕТОДЛАРИ**

**05.02.03 - Технологик машиналар. Роботлар, меxатроника ва
робототехник тизимлар
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Contents of the abstract of doctor's dissertation

Шин Илларион Георгиевич

Пахтани дастлабки ишлаш машиналари деталларининг
 сифатини таъминлаш ва чидамлилигини башорат қилишнинг
 технологик методлари..... 3

Шин Илларион Георгиевич

Технологические методы обеспечения качества и
 прогнозирования долговечности деталей машин первичной
 обработки хлопка..... 30

Shin Illarion

Technological methods of maintenance a quality and forecasting a
 durability of details in machines of primary cotton-ginning 59

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
 List of published works..... 85

**ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
16.07.2013.Т.06.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ТОШКЕНТ ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ИНСТИТУТИ

ШИН ИЛЛАРИОН ГЕОРГИЕВИЧ

**ПАХТАНИ ДАСТЛАБКИ ИШЛАШ МАШИНАЛАРИ ДЕТАЛЛАРИНИНГ
СИФАТИНИ ТАЪМИНЛАШ ВА ЧИДАМЛИЛИГИНИ БАШОРАТ
ҚИЛИШНИНГ ТЕХНОЛОГИК МЕТОДЛАРИ**

**05.02.03 - Технологик машиналар. Роботлар, меxатроника ва
робототехник тизимлар
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2014

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.5.Т320 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтида бажарилган.

Докторлик диссертациясининг тўла матни Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти ҳузуридаги Фан доктори илмий даражасини берувчи 16.07.2013.Т.06.01 рақамли илмий кенгаш веб-саҳифасида www.titli.uz манзилига жойлаштирилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифада www.titli.uz манзилига ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталида www.ziyounet.uz манзилига жойлаштирилган.

**Илмий
маслаҳатчи:**

Джураев Анвар Джураевич,
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий
оппонентлар:**

Маҳкамов Руфат Гулямович,
академик, техника фанлари доктори, профессор

Ахмедходжаев Хамид Турсунович,
техника фанлари доктори, профессор

Рахмонов Хайридин Кодирович,
техника фанлари доктори

**Етакчи
ташкilot:**

Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти ҳузуридаги 16.07.2013.Т.06.01 рақамли илмий кенгашининг «25» декабр 2014 й. соат 14⁰⁰ 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).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (03 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100100, Тошкент ш., Шохжаҳон –5, тел. (+99871)- 253-06-06, 253-08-08.

Диссертация автореферати 2014 йил «22 » ноябрда таркатилди.

(2014 йил 22 ноябрдаги № 03 рақамли реестр баённомаси).

К. Жуманиязов,
фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

А.З.Маматов,
фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

А.Ж.Джураев,
фан доктори илмий даражасини берувчи илмий кенгаш
ҳузуридаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АННОТАЦИЯСИ

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Замонавий машинасозликнинг ривожланиши, айниқса қишлоқ хўжалиги техника ва технологиясининг янги авлодини яратиш билан боғлиқдир. Ўзбекистон Республикаси Президенти Ислон Каримов таъкидлаб ўтганларига асосан, ишлаб чиқариш соҳалари ичида энг муҳим йўналишлар қаторига қишлоқ хўжалик машинасозлиги киради ва у республикада пахта комплекси машина ва механизмларни ишлаб чиқаришга асослангандир: «... Пахта Ўзбекистон учун республиканинг мустақиллигини кафолатлайдиган сиёсий ва иқтисодий куч-қудрат манбаидир».¹

Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг «2007-2011 йилларда пахта тозалаш саноати корхоналарини модернизация ва реконструкция қилиш дастури тўғрисида» ги 2007 йил 3 апрелдаги 70-сонли қарорига асосан пахта тозалаш саноатининг ҳозирги бозор иқтисодиёти шароитидаги асосий вазифаси рақобатбардош маҳсулотни дунё талаблари асосида таъминлашдан иборат. Ушбу вазифани ҳал қилишда технологик ускуналар – пахтани дастлабки ишлаш машиналари (пахтани йирик ифлосликлардан тозалагичлар, жинлар, линтерлар, тола тозалагичлар)нинг ўрни муҳим бўлиб, уларнинг ишлаш қобилияти юқори даражада бўлиши энг кўп тарқалган ва муҳим деталлар ишчи органлар – аррали диск ва колосникларнинг чидамлилиги билан аниқланади.

Машиналарнинг эксплуатацион чидамлилигини таъминлаш масаласини ечиш учун деталлар чидамлилигини оширишнинг технологик усуллари қўллаш самарали ҳисобланади. Ишлаш жараёнида деталларнинг юза қатламлари механик, иссиқлик, кимёвий ва бошқа интенсив таъсирларда бўлгани учун уларнинг сиртларини оптимал ҳолатлари (эксплуатация шартлари асосида) шакллантиради. Шунинг учун деталларнинг ўз вазифасини бажариш ҳолатини бузилиши кўп ҳолларда сирт қатламидан бошланади, масалан, чарчашдаги ёрилишлар, ейилиш, коррозиялар ва бошқалар ҳисобига бўлади.

Аррали дискларнинг тишларини ишлаш жараёнида кўп сонли юкланишларида ўзгарувчан кучланишлар ҳосил бўлади, масалан, аррали цилиндрни айланиш частотаси $n=730$ айл/мин бўлганда, 48 соат ичидаёқ кучланишларнинг ўзгарувчан цикллари сони $2,1 \cdot 10^6$ дан кўпроқдир. Ушбу шароитда тишларда ўзгарувчан масса ва зичликка эга бўлган хом ашё валиги таъсирида ёриқлар, пластик ўзаро силжишлар ва эзилишларга олиб келади, пахта хом ашёси таркибидаги қаттиқ қўшилмалар (гранит, карбит, оҳак) эса тишларни ейилишга сабаб бўлади. Жинлар ва линтерларнинг колосниклари ҳам юқори ишқаланиш чидамлилигига эга бўлиши керак бўлади.

Техник регламентга асосан пахта хом ашёси навиға қараб ишчи валдаги аррали дискларни ишлатиш ва тўлиқ алмаштириш вақти жин арралари учун 72

¹ И. Каримов. Ўзбекистон иқтисодий ислохотларни чуқурлаштириш йўлида. – Тошкент: Ўзбекистон, 1995, 194 б.

– 96 соат, линтер арралари учун 48 соатни ташкил этади. Аррали дискларни қайта тиклаш янги ўлчамлари кесиш асосида (жин арраларида 2 марта, линтерда 5 марта) масалан, жинларда 90 дан 130 гача уларнинг модификациясига асосан олинади. Республикамиздаги 98 та пахта тозалаш корхоналари учун умумий аррали дискларга бўлган эҳтиёж биргина пахта мавсуми учун 1 млн донадан ортиқдир.

Агарда аррали дисклар учун ишлатиладиган қимматбаҳо У8Г углеродли асбобсозлик пўлат материали Россия Федерациясидан олиб келиниши ҳисобга олинса, бу мураккаб ҳолат янада чуқурлашади. Ушбу материалнинг импортини аррали дискларнинг чидамлилигини ошириш ҳисобига камайтириш, шакшубҳасиз олинadиган маҳсулот – пахта толасининг таннархини камайтириш ҳисобига пахтани қайта ишлаш иқтисодий самарадорлигини оширади.

Ҳатто, деталлар чидамлилигини ошириш бўйича янги услубларни ишлаб чиқишда йиғилган катта тажриба ва изланишлар аррали дисклар ҳамда пахтани қайта ишлаш машиналарининг муҳим деталлари учун қўллашда етарли бўлмай қолди. Ушбу ҳолат аниқ шароит учун замонавий мустаҳкамлаш усулларида энг оптималини танлашни тақозо этади. Аррали дискларнинг тишларини ҳозиргача мавжуд бўлган мустаҳкамлаш методлари (электродконтакт усулида қиздириш ва лазер билан ишлов бериш) уларнинг чидамлилигини оширишнинг тўлиқ ҳолдаги муаммосини ҳал этмайди. Чунки, юқори даражадаги иссиқлик таъсирида тишнинг учида ҳажмий чиниқтириш ҳолати бўлади ва иссиқлик ҳисобига мустаҳкамлаш эффекти ҳосил бўлади. Деталларни ҳажмий чиниқтиришда (мустаҳкамлаш) уларнинг ички ўрта қисмида қовушқоқлик сақланмайди ва бу эгилишдаги юкланишлар такрорланувчи-ўзгарувчи таъсирларда мақбул бўлмайди. Чунки бунда ишлаш қобиляти ва чарчаш бузилишига қаршилик қобиляти ишлаш шароитида пасаяди.

Деталларнинг юза қатламларини пластик деформациялаш (ЮҚПД), жумладан, золдир билан уриб ишлаш прогрессив ва самаралироқ мустаҳкамлаш услуби ҳисобланади. Золдир билан уриб мустаҳкамлаш технологик имкониятлари, биринчи навбатда, ўткир киррали кичик бикрликдаги ингичка деталларни мустаҳкамлашга мос келади. Ушбу конструктив белгиларга аррали дискларнинг тишлари тўлиқ мос келади, бу ўз навбатида пахтани қайта ишлаш машиналари ишлаш қобилятини ошириш мақсадида янги илмий-техник ечимни олиш учун асос бўлиб хизмат қилади. Ушбу ечим деталларнинг сирт қатламларини механик ишлов бериб мустаҳкамлаш, чидамлилигини башорат қилиш имконияти, назарий ва амалий томондан технологияларни таъминлаш бўйича янги илмий ёндашувларни ишлаб чиқишни талаб қилади.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожлантиришнинг муҳим йўналишига мос равишда ва инновацион тадқиқотларнинг Давлат илмий-техник дастури: ИД-5 “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф муҳитни ҳимоялаш” асосида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий тадқиқотлар шарҳи.

Дунё машинасозлигининг замонавий ишлаб чиқариш амалиётида, айниқса, ишлаб чиқариш ривожланган етакчи давлатларда (АҚШ, Франция, Япония, Германия, Англия, Россия Федерацияси, Венгрия ва бошқалар) машиналарнинг муҳим деталларини тайёрлашда турли ишлов бериш услубларини қўллаш бўйича ижобий тажрибалар олинган.

Машина деталлари ва механизмларининг ейилишга чидамлилигини, контакт мустаҳкамлиги, бикрлиги, чарчаш мустаҳкамлиги ва бошқа ишлаш қобилиятини белгиловчи омиларни, сифат кўрсаткичларини таъминлайдиган механик ишлов беришдаги режимларни ва параметрларни оптималлаштириш масаласи бўйича етарлича тажриба тўпланган бўлиб, улар қуйидаги чет эллик олим ва мутахассисларнинг ишларида ўз аксини топган: Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши, Е.М. Трент, Х. Опитц, И.Дж. Армарего, Р.Х. Браун ва бошқалар. Деформациянинг микроскопик кўриниши орқали пластик деформацияни дислокацион моделига асосланган комплекс физик-механик ва геометрик параметрлари билан характерланадиган юза сирти ҳолатининг шаклланиши бўйича фундаментал изланишлар қуйидаги чет эллик кўзга кўринган олимларнинг илмий ишларида амалга оширилган: Ж. Фридель (Франция), У. Лю ва М. Бэреш (АҚШ), Дж. Мартин ва Р. Доэрти (Англия), Г. Польцер ва В. Эвелинг (Германия), Л. Катор ва П. Ньюлис (Венгрия), Т. Екобори (Япония).

Ушбу олимларнинг тадқиқотларида пластик деформацияланишнинг дислокацион модели ёрдамида деформация қонуниятлари температура-кучлар майдони таъсирида микроскопик даражада аниқланган.

Машина деталлари юза сиртининг деформацияси асосидаги динамик назарий-тажрибавий методларни ривожланиши ва қўлланишида чет эллик олимларнинг улкан хиссалари бор, жумладан, И. Андерсон, Д. Мартин, О. Хоргер, Ван Хауз, И. Олмен, Р. Мэтсон, В. Коулмен, Г. Фукс ишлари киради.

Кўп сонли чет эл олимларининг деталларнинг юза сиртлари сифатини белгиловчи параметрларини шакллантириш масаласи бўйича илмий ишлари мавжуд. Деталларга яқунловчи ишлов беришда уларнинг эксплуатацион кўрсаткичларига таъсирини белгилаш машиналар ишчи органлари чидамлилигини ошириш ҳисобига юқори технологик ва эксплуатацион чидамлилигини таъминлайди, бу эса замонавий ёндашув ва услубларни белгилаш бўйича фан ва технологиянинг ривожини кўрсатиб беради.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Машина деталларининг юза сиртлари сифатини ошириш билан боғлиқ равишда ўрганиш масалалари замонавий машинасозлик технологиясида долзарб ва муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

М.М. Саверин, А.А. Маталин, Б.А. Кравченко, Д.Д. Папшев раҳбарлигидаги илмий мактаблар золдир билан юза сиртини деформациялаб мустаҳкамлаш, деформацияланиш ҳолатининг шаклланиши бўйича илмий асосларини яратишган. Уларни машинасозликнинг турли соҳаларида

(авиасозлик, нефт ва кимё соҳаси, қишлоқ хўжалиги ва бошқ.) қўллаш бўйича амалий тавсиялар ишлаб чиқилган.

Пахта етиштирувчи ва унга мос пахта саноати мавжуд регионларда пахтани самарали қайта ишлашни янги илмий-техник таклифлар асосида амалга ошириш мумкин, жумладан, технологик машиналар ишчи органлари деталларининг чидамлилиги ва сифатини оширадиган мустаҳкамлаш технологиялари улар каторига киради.

Пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг (тозалагичлар, жинлар, линтерлар, тола тозалагичлар) катта сериядаги муҳим деталларини мустаҳкамлаш технологияси бўйича илмий изланишлар Р.Г. Махкамов, Э.М. Абдул-Раззаков, М.Г. Хамов, А.П. Рогов, А.М. Ахмедов ишларида келтирилган бўлиб, улар етарли даражада эмас. Ушбу ишларда пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг аррали дискларини ва аррачали сегментлари тишларининг механик хусусиятларини ошириш бўйича мосламалар кўрилган бўлиб, натижалар электр контакт усулида қиздириш, лазер ёрдамида, газ алангасида чиниқтириш, яъни термомустаҳкамлаш билан амалга оширилган. Бунда тиш учи бутун ҳажми бўйича чиниқтирилганда конструктив материал қовушқоқлигини йўқолиши ҳисобига эгилишига қаршилиги ортади. Бу эса тишни дарз кетиб синишига сабаб бўлади. Шундай қилиб, ҳозирги вақтда янги технологик ечимлар асосидаги илмий изланишлар олиб бориш кераклиги ўз-ўзидан пайдо бўлади. Ушбу изланишлар деталларнинг юза сиртларининг юқори сифатини таъминлашга имкон беради, хусусан индентор ва ишлов берилаётган материални ўзаро куч асосидаги таъсирининг юза ҳолати шаклланишининг негизи ҳисобланади.

Машина деталларининг қолдиқ кучланиш ҳолати бўйича чидамлилиги ва чарчаш мустаҳкамлилигини башорат қилиш услублари етарли даражада ишлаб чиқилган. Ушбу масала ечими машина деталларининг ишлов берилган юзалари сифатини ишлов бериш шартлари ва режим параметрлари орқали актив созлашга имкон беради. Бу эса машина деталларини тайёрлашда технологик жараёнларни лойиҳалаш босқичида чидамлиликини баҳолашни башорат қилиш асосини яратиш имконини беради.

Диссертация тадқиқотининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги қуйидаги ИТИлари ва лойиҳаларда ўз аксини топган:

Давлат илмий-техник лойиҳаси ИОТ-2013-5-28 “Пахтани дастлабки ишлаш машиналари масъул қисмлари сирт қатламлари квалиметриясини динамик мустаҳкамлаш усули билан ишлаш қобилияти ва чидамлилигини ошириш”, ТТЕСИ “Назарий ва амалий механика” кафедрасининг 2005-2010 йилларда «Тўқимачилик ва енгил саноат машина деталлари ва механизмларининг самарали ва технологик конструкцияларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш» давлат бюджети мавзуси бўйича бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг ишлаш қобилиятини ошириш учун уларнинг ишчи органлари деталларининг сирт қатламларини етарли сифатини ва эксплуатация шароитидаги

чидамлилигини таъминлайдиган технологик методларини ишлаб чиқишдан иборат.

Қўйилган мақсадга мос равишда қуйидаги **тадқиқот вазифалари** белгиланган:

пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг кичик бикрликдаги деталларини (аррали дискларни) золдир билан динамик деформациялаш методини ишлаб чиқиш ва юза қатламини юқори сифатини таъминлайдиган оптимал параметрларини аниқлаш;

чўяндан тайёрланган колосникларни ишчи юзаларини золдир билан зарба бериш асосида деформациялаб мустаҳкамлаш методини асослаш ва ишлаб чиқиш;

муҳим машина деталларига яқуний механик ишлов бериш ва юзасини пластик деформациялашда қаттиқ жисмларни ўзаро контактдаги таъсирини ифодаловчи структуравий энергетик модели ишлаб чиқиш;

конструкцион материални физик-механик хусусиятлари ва ишлов бериш режимларининг юза қатлами сифатини белгиловчи муҳим параметр – технологик қолдиқ кучланишга боғлиқ равишда ҳисоблашнинг универсал методини ишлаб чиқиш;

эксплуатация шароитида пахтани дастлабки ишлаш, машина деталларининг параметрларини ҳисоблаш ва чидамлилигини башорат қилиш методларини ишлаб чиқиш;

пахта тозалаш машиналари деталларининг ишлаш қобилиятлари ва чидамлилигини ошириш мақсадида янги технологик услубларини қўллаган ҳолда тажриба-ишлаб чиқариш синовларини ўтказиш ва амалга ошириш.

Тадқиқот объекти сифатида пахтани дастлабки ишлаш машиналари ишчи органларининг деталлари қўрилган.

Тадқиқот предмети – юзани пластик деформацияланиши натижасида шаклланган пахтани дастлабки ишлаш машиналарини муҳим деталларининг (аррали диск, колосник, аррали цилиндр вали) юза қатламлари сифати.

Тадқиқот усуллари. Ишнинг мақсади ва қўйилган масалалари назарий ва тажрибавий тадқиқотлар асосида амалга оширилган. Технологик қолдиқ кучланишларни шакллантиришдаги структуравий-энергетик моделини ишлаб чиқишда термодинамиканинг қайтмас жараёнлари, қаттиқ жисм физикасидаги дислокация назарияси, технологик жараёнлар иссиқлик физикаси, қайишқоқлик ва пластик деформация назарияси, қаттиқ жисм бикрлиги ва емирилиш гипотезисининг фундаментал асослари ва қонунларидан фойдаланилган. Назарий изланишларни амалга оширишда амалий механика, математик физика ва олий математика методлари кенг қўлланилган.

Тажрибавий тадқиқотлар 12 та золдирни отувчи аппаратни ўз ичига олган УДП-2-3.5 русумли ишлаб чиқариш қурилмасида ўтказилган. Деталларнинг юза қатламлари сифат кўрсаткичларига тегишли методлардан фойдаланиб ўлчаш асбобларида (микроқаттиқликўлчагич ПМТ-3, профилограф-профилометр «Калибр»да) ўтказилиб аниқланган. Жиндан кейин

олинган пахта толалари ва чигит сифати тажриба усулида лаборатория ва ишлаб чиқариш шароитларида аниқланган. Тажрибаларда тензометрик усул қўлланилган, тажриба натижалари статистик ишлаш усули асосида компьютер технологияларидан фойдаланиб амалга оширилган, натижаларнинг аниқлик даражаси 0,95да ҳисобланган.

Диссертация тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

метални пластик деформациялаш физикасининг замонавий концепциясига асосланган, маҳсулот юза қатламининг деформацияси температура – куч майдони таъсирида микро ва макро ҳолатини синтез қилиш имконини берадиган пахтани дастлабки ишлаш машиналари деталларини деформациялаб мустаҳкамлаш ва кесиб ишлов беришда технологик қолдиқ кучланишларни шакллантиришнинг структуравий-энергетик модели ишлаб чиқилган;

пахтани дастлабки ишлаш машиналари аррали дисклари тишларининг юзасини золдир билан динамик мустаҳкамлаш методи ва қурилма конструкцияси ишлаб чиқилган (фойдали модель патент “Деталларни мустаҳкамлаш учун сочма ўқ отиш қурилмаси” FAP 00513, 31.12.2009);

қаттиқ жисмларни ўзаро динамик таъсиридаги муҳим параметр – зарбадаги тезликнинг тикланиш коэффициентини аниқлаш масаласини аналитик ечими олинган. Деформацияланувчи материал физик-механик характеристикаси ва қаттиқ заррача параметрларига боғлиқ ҳолда ушбу коэффициентни ўзгариш хусусиятлари аниқланган;

пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг аррали дисклари тишларини золдир билан ишлов бериб мустаҳкамлашда деформацияланиш чуқурлигини (эзиш) аниқлаш масаласи назарий усулда ечилган;

жин арраларини золдир билан зарба бериб, деформациялаб ишлов беришда мустаҳкамланган юзанинг ғадир-будурлигининг шаклланиш механизми ишлаб чиқилган;

ишлаш шароитига мос ҳолда аррали дискларнинг чарчашга мустаҳкамлилиги ва чидамлилигини башорат қилиш асосини белгилайдиган машина деталлари қолдиқ деформацияларининг мустаҳкамликка таъсирини баҳолаш кўп циклик юкланишдаги таъсирини аниқлаш, ҳамда кўп циклик чарчашнинг ҳисоблаш методлари ишлаб чиқилган. Жин арраларининг нисбий чидамлилигини қолдиқ кучланишлар интенсивлиги коэффициентига нисбатан боғланишлари олинган;

аррали дискларнинг тишларини золдир билан ишлов беришдаги оптимал технологик параметрлари тажриба орқали аниқланган, ишлаб чиқариш шароитида мустаҳкамлилиги оширилган жин арраларининг синовлари ўтказилган, жиндан сўнг олинган пахтани сифат кўрсаткичлари солиштирилган ва таҳлил қилинган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

пахтани қайта ишлаш машиналарининг деталлари ишчи юзаларини золдир билан уриб мустаҳкамлашнинг янги технологик методи ишлаб чиқилган;

золдир билан уриб мустаҳкамлаш режимининг оптимал параметрларига асосланган (золдир диаметри, термик ишлов бериш вақти, золдирлар миқдори);

деталларнинг юза қатламлари ҳолатини белгиловчи муҳим кўрсаткич, деформация натижасида захираланган энергия даражасини белгиловчи технологик қолдиқ кучланишни ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

золдир билан мустаҳкамлашдан сўнг қолдиқ кучланишлар интенсивлик қиймати бўйича тишларнинг аррали дискларини чарчаш мустаҳкамлилиги ва чидамлилигини башорат қилиш методи ишлаб чиқилган;

аррали дисклар тишларини золдир билан мустаҳкамлаш самараси натижасида чидамлилигига ишлов берилмаган тишларга нисбатан бир неча марта ортганлиги тажриба-ишлаб ишлаб чиқариш синовлари натижасида аниқланган.

Олинган натижаларнинг ишончлилиги золдир билан мустаҳкамланадиган сиртни ўзаро таъсиридаги қайишқоқ ярим чегараланмаган жисм шаклидаги система учун математик ва физик моделларни тўғри танланганлиги, ҳамда назарий ва тажрибавий изланиш натижаларининг ўзаро мос келганлиги, шунингдек натижаларнинг бошқа муаллиф ишлари натижаларига мос келганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг назарий ва амалий аҳамияти. Иш натижаларини назарий аҳамияти қуйидагилардан ташкил топган: маҳсулот сирт қатлами сифатини белгиловчи бош параметр-технологик қолдиқ кучланишларнинг шаклланиши структуравий-энергетик модели ишлаб чиқилган; қолдиқ кучланишлар интенсивлиги даражасига боғлиқ деформация яширин энергияси учун аналитик боғланишлар аниқланган; қаттиқ сферик заррачани металл тўсиқ билан бир мартали зарба таъсирини математик моделлаштириш асосида деформациялаб мустаҳкамлаш чуқурлиги, юза ғадир-будирлиги, таъсирдаги температура, тезликни тикланиш коэффициенти бўйича боғланишлар олинган.

Бажарилган тадқиқотларнинг амалий аҳамияти жиннинг муҳим деталларини (аррали дисклар, колосниклар) золдир билан уриб мустаҳкамлашнинг самарали динамик методини қўллаб уларнинг сирт қатламидаги эгилишдаги қолдиқ деформацияларининг шаклланиши, деформациялаб мустаҳкамланиш даражаси (эзилиш) 33.4% га; эзилиш чуқурлиги $0,2 \div 0,23$ мм бўлиши билан асосланади. Бунда тишларнинг ҳар икки томонлама юзаларига ишлов берилганда деталнинг ички қисмида қовушқоқлиги сақланади ва у узоқ вақт жинлаш жараёнида хом ашё валиги билан таъсирланганда қайтар-ўзгарувчан кучланишларга қаршилик кўрсатади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Биринчи марта жинларнинг аррали дисклари тишларига ва колосникларига динамик ишлов бериб мустаҳкамлаш услуби тавсия қилинган ва технологияси ишлаб чиқилган. Ўтказилган тадқиқотларнинг натижалари, яъни золдир билан ишлов бериб мустаҳкамланган аррали дисклар ДПЗ-180 русумли жинларда «Ўзпахтасаноат» уюшмаси корхоналарида ишлаб чиқаришга жорий этилиб, йиллик иқтисодий

самара 80,992 млн сўми ташкил этган («Ўзпахтасаноат» уюшмасининг 04.09.2014 йилдаги жорий қилинганлик далолатномаси).

Ишнинг апробацияси. Тадқиқот натижалари 20 дан ортиқ илмий-амалий анжуманлар, шу жумладан 8 та халқаро анжуманларда, хусусан: «Машинасозликда прогрессив технологик жараёнлар» (Россия Федерацияси, Тольятти, 2002 й.); «Саноат ишлаб чиқаришда ресурс ва энергияни тежаш» (Беларус Республикаси, Витебск, 2003 й.); «Механика ва машинасозликнинг актуал муаммолари» (Қозоғистон Республикаси, Алма-Ата, 2005); «Маҳсулот реновацияси ва сирт инженерияси» (Украина Республикаси, Ялта, 2010-2013); «Ресурс ва энергияни тежашда янги ва ноанъанавий технологиялар» (Украина Республикаси, Одесса, 2010-2013); «Сифат, стандартлаш, назорат: назария ва амалиёт» (Украина Республикаси, Ялта, 2010-2013); «Саноат ва транспортда ишлаб чиқариш ва таъмирлашда замонавий муаммолар» (Украина Республикаси, Свалява, 2010-2013); «Илм куни» (Чехия Республикаси, Прага, 2012) анжуманларида апробациядан ўтказилган.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 56 та илмий иш, шу жумладан 9 та илмий мақола халқаро журналларда чоп этилган ва 2 та патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 8 та илова, 264 саҳифа матн, 112 та расм ва 5 та жадваллардан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги асослаб берилган, тадқиқот мақсад ва вазифалари шакллантирилган, илмий янгилиги қайд этилган, илмий ва амалий аҳамияти баён қилинган, ҳимояга олиб чиқиладиган асосий ҳолатлар келтирилган.

Биринчи бобда пахтани дастлабки ишлашда қўлланиладиган замонавий технологик машиналар тўғрисида қисқа маълумотлар берилган. Пахтани қайта ишлаш жиҳозларининг мустаҳкамлилиги ва чидамлилигига таъсир қилувчи муҳим деталлар ва механизмларнинг ишлаш хусусиятлар таҳлили келтирилган.

Пахтани дастлабки ишлаш технологияси тизимида (тозалаш, жинлаш, линтерлаш, делинтерлаш) қўлланиладиган технологик машиналарнинг ишчи органларининг энг асосий ва муҳим детали бўлиб аррали дисклар ҳисобланади. Аррали дисклар фақат бир машина учун 90 дан 130гача бўлиши мумкин. Ушбу детални кўп миқдорда кераклигидан ташқари, яна бир мақбул бўлмаган ҳолати мавжуд, яъни ушбу детални андозаси бўлган У8Г углеродли асбоб пўлатини Россия Федерациясидан олиб келинишидир. Ушбу конструкцион материалнинг чидамлилигини ошириш ҳамда импортни камайтириш ҳисобига пахта саноати учун иқтисодий самарадорликни шаклланиши учун муҳим асос бўлиб хизмат қилади.

Материалларга механик ишлов беришдаги деформацияланиш жараёни етарли даражада ўзаро боғлиқ бўлган мураккаб комплекс жараёнлардан

иборатдир. Ишда фундаментал физика қонунларини ва муҳим турдош фанлар бўйича маълумотларни қўллаш асослаб берилган (қайишқоқлик ва пластик деформация назарияси, теплофизика, қаттиқ жисм физикасидаги дислокация назарияси, қайтмас жараёнлар, термодинамикаси ва бошқ.). Ишлаб чиқилган моделларнинг илмий моҳияти деталларнинг чидамлилигини башорат қилиш мумкинлигида, уларнинг юза сирти сифати параметрларини белгилашда, якунловчи босқичида мустаҳкамлаш ва механик ишлов беришда намоён бўлади.

Иккинчи бобда материалларни кесиш асосида механик ишлов бериш ва юзани пластик деформациялаб мустаҳкамлашда ишлов бериш асосида юза қатлами сифатини белгиловчи муҳим бўлган параметрни шакллантириш бўйича структуравий-энергетик моделни (СЭМ) ишлаб чиқишга бағишланган.

Металларни пластик деформациялаш жараёнида микро ва макро даражадаги синтези амалга оширилди. Бунда замонавий нуктаи назаридан узлуксиз генерциялаш жараёнини ва аннигиляция асосида металларни дислокацион кристалланиш структураларининг шаклланиши асос қилиб олинган. Деталларнинг юза қатлами сифатининг шаклланиш механизми мазмуни универсал (энергетик) ёндашув асосида ишлаб чиқилди. Ушбу ёндашув турдош ва ўзаро боғланган билим соҳалари асосида амалга оширилди: қайишқоқлик ва пластик деформацияланиш назарияси, қаттиқ жисм физикасидаги дислокация назарияси, қайтмас жараёнлар термодинамикаси, иссиқлик физикаси, трибология, металларни кесиш ва босим билан ишлов бериш.

Диссертацияда қайд қилинганидек, қаттиқ жисмларнинг пластик деформацияланиши ва бузилиши ягона физик ҳоссага эга дисklarнинг контакт юзаларини микроҳажмдаги қисмларида ички (ёпик) энергиянинг деформацияланишида U_s уни йиғилиш ва тарқалиш хусусиятига эгалигидир. Ушбу энергия аслида зичланиш энергияси бўлиб, пластик деформация асосида юза қатламида сиқилган дислокация энергияси ҳисобланади. Энергияни захираланиши қолдиқ кучланишларни ҳосил бўлишига олиб келади ҳамда дислокацияларни тўхташига сабаб бўлади ва ички ишқаланиш, қайишқоқ гистерезис, экзоэлектрон эмиссия каби физик жараёнларга боғлиқ бўлади. Демак, захираланган энергия юза қатлами ҳолатини белгилашда интеграл ва информатсион томондан аниқлаб беради, деформациялаб мустаҳкамлаш даражасини ҳамда кучлатишларни қолдиқ юзадаги интенсивлигини кўрсатади.

Металлни совуқ ҳолда пластик деформациялашда (эзишда), механик энергиянинг катта қисми (97% дан) пластик деформациялашга, иссиқлик ажралишига, қолган қисми ($\approx 0,5 \dots 3\%$) металлнинг юза қатламида эзилишнинг захира энергияси ΔU сифатида тўпланади ва уни термодинамиканинг биринчи қонуни орқали аниқлаш мумкин:

$$\Delta U = W - Q = U_s; \quad |Q| < |W|, \quad (1)$$

бу ерда ΔU – жисмнинг ички энергиясининг ўзгариши; Q – деформацияга боғлиқ иссиқлик эффекти; W – иш (агарда жисм устида бажарилса мусбат).

Деформациялаб мустаҳкамлашда ёки метални эзишда ΔU – мусбат бўлиб эзишдаги ёпиқ (захира) энергия U_s га тенг. Металлда эзишдаги ёпиқ энергияни тўпланиши натижасида, деформацияланиш мувозанатда бўлмайди ва қулай шароитда ёпиқ энергия сарфи асосида янгитдан қайта кристаллизация жараёни юзага келади. Деформацияланишдаги очик энергия U_s ни таҳлили бир қатор амалий сабаблар бўйича қизиқарлидир: пластик деформациялаш жараёнини тадқиқод қилиш деформациялаб мустаҳкамлашнинг физик-механик табиатини таҳлил қилиш; металлнинг юза қатламини пластик деформациялашда тикланиш жараёнларини тадқиқод қилиш.

Термодинамиканинг биринчи қонуни талаблари барча жараёнларга мос келмаслиги мумкин. Шунинг учун термодинамиканинг қонунига мурожат қилиб, унга асосан қайтмас жараёнлардаги ҳолат функциясини dQ/T система учун тўла дифференциалидир. Ушбу тўла дифференциалнинг интеграли S энтропияси бўлиб, ҳолат параметри ҳисобланади ва уни модда қийматига пропорционал экстенсив катталик сифатида кўрилади:

$$dS=dQ/T \quad \text{ёки} \quad dQ=TdS, \quad (2)$$

бу ерда dQ – элементар қайтиш жараёнидаги қайтарилаётган иссиқлик; T – жараён вақтидаги системанинг термодинамик (абсолют) температураси.

Деформацияланувчи жисмлар учун ички кучланишларни бажарган ишларини белгиловчи асосий термодинамик ифодаси олинди:

$$dU = \sigma_{ij} d\epsilon_{ij} + T dS, \quad (3)$$

бу ерда dU – ички энергиянинг чексиз кичик ўзгариши; σ_{ij} – кучланишлар тензори; $d\epsilon_{ij}$ – умумий ҳолда қайишқоқ ϵ_{ij}^y ва пластик деформациялар ϵ_{ij}^n йиғиндисига тенг бўлган деформациялар тензори.

Олинган (3) тенгламада ички энергиянинг чексиз кичик ўзгариши dU системадаги иссиқлик миқдори ва деформацияни тензори $d\epsilon$ орқали ифодаланган. Ички энергиянинг dU ўзгариши тўлиқ деформациянинг ва бу тенгламадаги боғланмаган ўзгарувчилар, деформация ϵ_{ij} ва энтропия S орқали аниқланади.

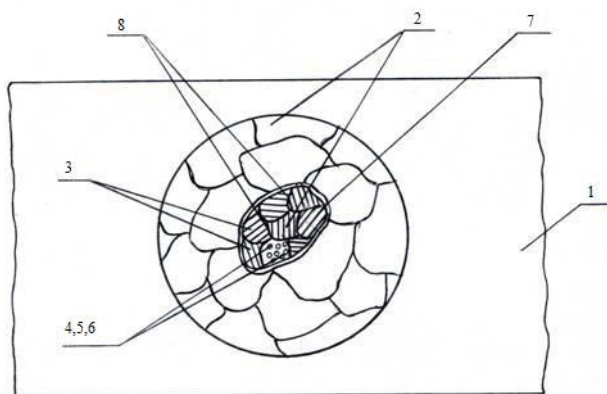
Кучланишни σ_{ij} , деформация ϵ_{ij} ва энтропия S орқали белгилаймиз. Бунинг учун $U(\epsilon_{ij}, S)$ функцияни табиий ҳолат оралиғи $U(0, S_0)$ да, чизикли ва квадратга олинган аъзоларини сақлаган ҳолда даражали қаторга ёзамиз, шунингдек кучланиш σ_{ij} , деформация ϵ_{ij} ва ΔS энтропияни ўзгартириб чизикли боғлиқларни чеклаган ҳолдаги ифодаси олинди:



$$dU(0, S_0)/d\epsilon_{ij} = 0 \quad \text{инобатга олинган, чунки табиий ҳолатда} \quad \epsilon_{ij}=0, \quad S=S_0 \quad \text{бўлганда} \quad \sigma_{ij}=0 \quad \text{бўлиши керак.} \quad (4)$$

Тенглама (4) кичик деформацияларни ўзаро чизикли нисбатини ифодалайди, бунда $dU(0, S_0)/d\epsilon_{ij}=0$ инобатга олинган, чунки табиий ҳолатда $\epsilon_{ij}=0$, $S=S_0$ бўлганда $\sigma_{ij}=0$ бўлиши керак.

Биринчи марта III тартибли қолдиқ кучланишларнинг тенг таъсир этувчиси сифатида II тартибли қолдиқ деформацияларни кўриш, уларни ҳажмларда ўзаро мувозанатлашган деб ва нуқтавий нуқсонлар ҳисобига



1 – намуна; 2 – заррача (кристаллитлар); 3 – мозаика блоклари; 4,5,6 – мас равишда дислокациялар, атомлар, электронлар; 7 – зарра чегаралари; 8 – мозаикали блокларнинг чегаралари

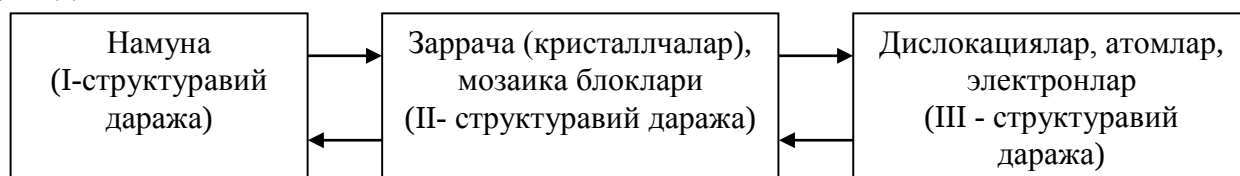
1-расм. Ярим кристал жисмлар учун деформациялар даражаси иерархияси (металл ва қотишма)

атомларни статик силжиши қийматини характерловчи дислокациялар оралиғида атомлар гуруҳи ўлчамларига қараб баҳолаш тавсия этилди. I даражали микрокучланишлар, деталлар ўлчамларига мос ҳажмларни эгаллаган ва II даражали (заррача, блоклар ва улар гуруҳида таъсир қилувчи микро кучланишлар) қолдиқ кучланишларни ўзаро физик нуқтаи назаридан йўқ бўлиб, мос равишда биринчи даражали кучланишлар иккинчи даражали қолдиқ кучланишларнинг тенг таъсир этувчисига мосдир.

Структуравий элементлар (1-расм) ва деформацияларни иерархия

тузилишлари (2-расм) таҳлил қилинганда, ярим кристал шаклида юқоридагилар билан қолдиқ кучланишлар тўғридан тўғри боғлиқлигини кўрсатди. Қаттиқ жисм физикасидаги металл ва қотишмаларнинг механик кучланишлари уларни келиб чиқиш сабабларидан қаттиқ назар (кучлар таъсири, температура, юқори энергия қисми ва бошқа факторлар) кристал решётканинг силжиши натижасидир. Демак, микро кучланишлар учун ҳам, субмикроскопик кучланишлар учун ҳам биргина физик модел мавжуд бўлиб, у кучланишларнинг шаклланишини ифодаладиган атом ва дислокацион моделдир. Бошқа сўз билан метални пластик силжиш табиатини ифодалаш учун жисм кристаллини, деформацияловчи сирт қатламини структуравий дислокацион даражасини таҳлил қилиш керак бўлади.

Захираланган энергия таркибига дислокацияларга кирган атомлар ва бўшлиқларга мос равишда 4,5:2:1 нисбатда бўлади. Демак, ёпиқ ички йиғилган энергиянинг ҳосил бўлиш манбаи асосан металлнинг кристалл структурасини чизиқли мукамал эканлиги, яъни дислокация чизиқлари тармоғи ҳисобланади, булар қайишқоқ силжишларга олиб келади ва қолдиқ кучланишларни ҳосил қилади.



2-расм. Ярим кристалл жисмлар учун деформацияларнинг даража иерархияси

Ёпиќ энергия U_s ва қолдиқ кучланишлар орасидаги боғланишни тадқиқ қилиш учун қиздирилган ва пластик деформацияланган металдаги дислокацияларнинг тарқалиши ва қийматларига таяниш керак бўлади. Агарда қиздирилган металлни бир см^2 да 10^6 дан 10^8 гача дислокация бўлса, деформацияланган металлда 1 см^2 да $10^{11} - 10^{12}$ дислокациялар зичлиги бўлиши эҳтимоли бор. Уларнинг тарқалганлиги деформацияланиш температураси, шакли ва даражасига боғлиқ.

$$\sigma_{i\,kol} = \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_s} \, , \quad (5)$$

Олинган (5) ифода тахлилига асосан, захира энергия қиймати ва тарқалганлигини, юза қатлами чуқурлиги бўйича деформацияни ва қайишқокликни ўзгармас ҳаракат параметрлари E ва μ ларни билган ҳолда қолдиқ кучланишлар интенсивлигини ҳисоблаб топиш мумкин. Бу интенсив бош қолдиқ кучланишлар $\sigma_{1\text{кол}}$, $\sigma_{2\text{кол}}$, $\sigma_{3\text{кол}}$ га боғлиқдир. Ушбу кучланишлар намуналарга бериладиган циклик юкланишларнинг амплитудаси ўзгартирилганда тўғридан-тўғри чарчаш (чидамлилиқ)га таъсир қилади.

1. Деформациянинг ёпиқ энергиясининг термодинамик усулда аниқлаш $\Delta U = U_s$, термодинамиканинг биринчи конунига асосланади ва машина деталларига турли механик ишлов беришда пластик деформацияланишини таҳлил қилишга имкон беради.

[illegible]

град; β – ўзгармас сон, 0,3...0,6 га тенг; $\sigma_{0,2}$ – чегаравий шартли оқиш, МПа; σ_i – нормал кучланишлар интенсивлиги, МПа.

3. Деформациянинг захира энергиясини деформацияланиш диаграммаси усулида аниқлаш чексиз элементлар асосидаги узлуксиз мухитнинг стерженли моделини умумлашган деформацияланиш диаграммасини (Мазинг модели) инобатга олиб ишлаб чиқилган. Ушбу моделга асосан ҳажмнинг структуравий ресурслардан иборат элементини бир хил деформацияланувчи стерженлар системасидан иборат дейиш мумкин. Шунингдек, стерженлар материалларини идеал қайишқоқ-пластик хусусиятларга эга деб қараб, қайишқоқ модуллари ўзаро тенг деб қабул қилинди. Деформацияланиш диаграммаси методи асосида берилган энергияни ҳисоблаш формуласи олинди:

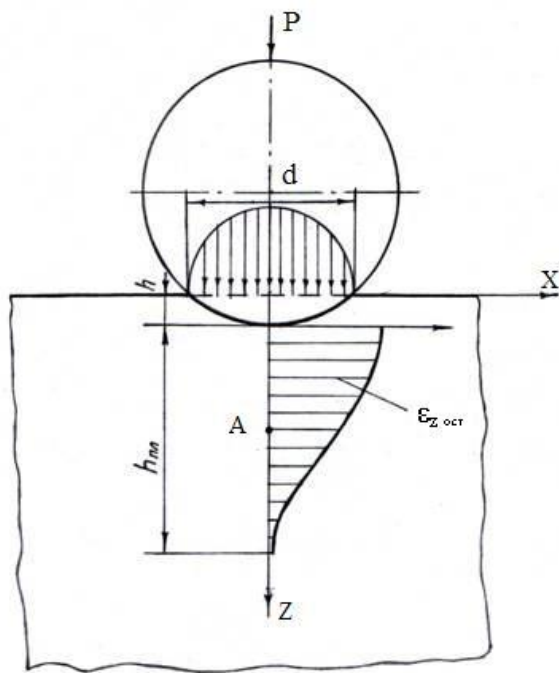
$$U_s = \int_0^{\epsilon_T} \sigma_T d\epsilon + \int_{\epsilon_T}^{\epsilon'} E' d\epsilon \quad (7)$$

бу ерда σ_T - ишлов берилаётган материалнинг физик оқиш чегараси; E' - уринма пластиклик модули ёки деформация модули.

Демак материалнинг механик характеристикалари σ_T , E ва E' ҳамда кучланишлар интенсивлиги σ_i орқали деформациянинг солиштирма энергияси U_s (7) дан фойдаланиб ҳисоблаш мумкин.

БЭМни амалга ошириш технологик қолдиқ кучланишларни ҳисоблаш алгоритми асосида қуйидаги кетма-кетликни белгилаш мумкин:

1. Махсулотни кесувчи ёки мустаҳкамловчи асбоб таъсирида юза қатлами куч ва температуравий юкланиш схемаларини тузиш.
2. Асбоб ва ишлов берилаётган детални ўзаро таъсир зонасидаги ташкил этувчи кучларни ва кучланишларни ҳисоблаш.
3. Деформацияларни энергетик ва теплофизик таҳлили: деформация иши A ни ва ажралиб чиққан иссиқлик Q ни аниқлаш.
4. Деформацияланишдаги солиштирма захира энергия U'_s ни таклиф этилган уч методдан бирини қўллаб ҳисоблаш: термодинамик $U_s = A - Q$ боғланиш асосида; схемалаштирилган деформацияланиш диаграммаси $\sigma_i = f(\epsilon_i)$ ни қўллаб металлнинг пластик деформациялашдаги дислокацион назарияси асосида энергиялар $U_s = E_d$ (дислокация энергияси) тенгламаси шартидан фойдаланиб аниқлаш.
5. Деформацияни захира энергияси U_s даражасига боғлиқ равишда қолдиқ кучланишлар $\sigma_{i \text{ кол}}$ интенсивлигини аниқлаш.
6. Кучланганлик ҳолати шаклига боғлиқ равишда бош қолдиқ кучланишларини $\sigma_{1 \text{ кол}}$, $\sigma_{2 \text{ кол}}$ ва $\sigma_{3 \text{ кол}}$ ҳисоблаш.



d, h – мос равишда ўйиқчанинг диаметри ва чуқурлиги; P – эгиш кучи

3-расм. Шарнинг динамик

мустваккамланадиган юзасини эзиш схемаси ва пластик деформацияланиш чуқурлиги $h_{пл}$ бўйича қолдиқ деформацияларни ўқ бўйича сиқилишининг эпюраси

юзасини золдир билан зарба бериб ишлов бериш локал деформацияланиш жараёни билан характерланади. Агарда отилаётган золдирнинг кинетик энергияси W_0 контакт юзадаги кучланишлар σ_i интенсивлигини таъминлашга етарли ва динамик оғиш чегараси $\sigma_{m.o}$ дан катта бўлса, у ҳолда ишлов бериладиган юзада ўйиқчалар шаклидаги изли бузилишлар ҳосил бўлади.

М.М. Савериннинг юзанинг деформацияланиш даражаси ψ ҳисоблаш формуласини Бринель ўлчамлари ($H_d = 1,7 \cdot HB$) динамик H_d ва статик HB қаттиқликни ҳамда золдирнинг кинетик энергиясини $W_0 = mv^2/2$ ҳисобга олган ҳолда қайта кўриб чиқиб, амалий томондан қўллашга қулай ифода олинган:

$$\psi = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,18 \cdot W_0}{HB \cdot \pi D^3 g}}, \quad (8)$$

бу ерда m ва D – мос равишда золдирнинг массаси (кг) ва диаметри, м; v – зарба тезлиги, м/с; g – эркин тушиш тезланиши, м/с².

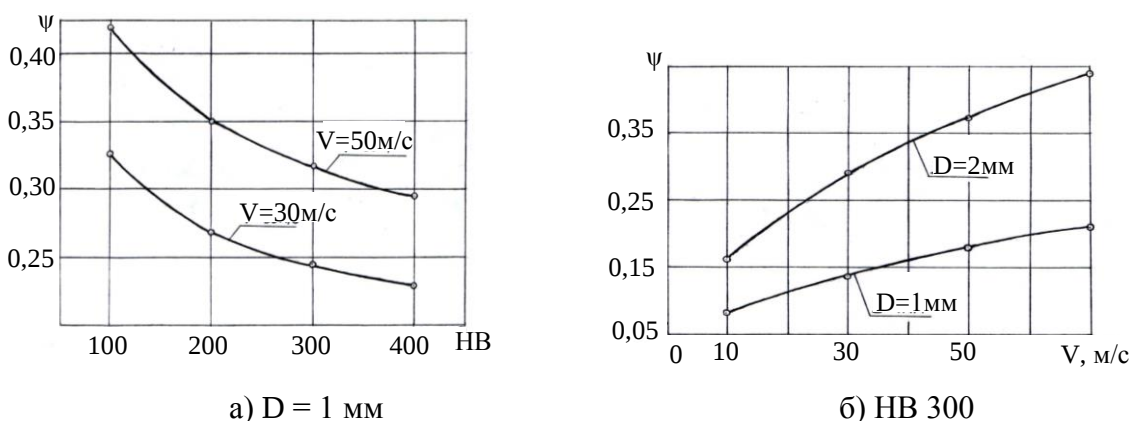
4-расмда юзани деформацияланиш даражаси ψ ни ҳисоблаш натижасида золдир билан ишлов бериш режими параметрларига боғлиқ ($v=10 \dots 90$ м/с, $D=0,5 \dots 2,5$ мм, HB 100...400) графиклари берилган. Ишлов берилаётган материал қаттиқлиги ортиши билан юзани деформацияланиш даражасининг монотон қонунияти камаяди, бунда D ва V нинг катта қийматларидаги ψ абсолют қиймати ортиб боради (мос равишда 0,057 ва 0,094 да).

Учинчи бобда металл сиртини золдир билан динамик, пластик деформациялашда ўзаро таъсир механикасини тадқиқ қилиш натижалари келтирилган. Ишда урувчи заррачани металл тўсиқ билан ўзаро таъсир масаласи квази статик ҳолатда кўрилган, яъни сферик қаттиқ заррача ва қайишқоқ ярим фазовий қисмни ўзаро силжишини ҳамда ўзаро таъсир кучлар статика тенгламалари билан ифодаланди. Бунда зарба тезлиги v_0 ташқи кучлар тарқалишидаги қайишқоқ тўлқинларнинг материалдаги сиқилиши ва силжишидаги тезлигидан бир неча бор кичик деб олинган.

Деформацияланиш зонасининг асосий геометрик параметрлари: d – пластик деформация юзининг диаметри ва h – чуқурлиги деб ҳисобланди (3-расм). Деталнинг

Зарбанинг тезлиги 10 дан 70 м/с гача ортиши билан (4,б-расм) кинетик энергиянинг ортиши ҳисобига юзанинг деформацияланиш даражаси ψ сезиларли даражаси ортади: мос равишда 2,63 ва 2,73 марта ортади, бунда $D=1$ ва 2 мм қилиб олинган.

Юзанинг пластик деформациясида (ЮПД) деформация ҳолати фақат ψ коэффиценти билан баҳоланиб қолмай, пластик деформация қатлами қалинлиги $h_{пл}=h_n$ ҳамда золдирни ўқ бўйлаб босимининг характерли зонасидаги деформациясини ўзгартириш билан ҳам баҳоланади. Қайта ишлов берилмаслиги деталнинг юза босим излари билан тўлиқ қопланганда ҳамма қатламларининг сиқилиш қалинлиги ўртача 3-расмда тасвирлангандек битта изнинг ўқ бўйлаб сиқилиш деформациясига мос келади.



4-расм. Юзани деформацияланиш Ψ даражасини золдирнинг қаттиқлиги, турли тезликларида v (а) ва турли D диаметрларида v (б) тезликка боғлиқ бўлган ўзгариш графиклари

Золдир билан уриб қайта ишлашда кўп марта динамик таъсир натижасида пластик изнинг радиуси маълум даражагача ошади ва сўнгра амалда ўзгармас ҳолда бўлади. Шунини назарга олганда пластик из радиуси қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$a = K \cdot D \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho v^2}{10,2 \cdot HB \cdot g}}, \text{ мм} \quad (9)$$

бу ерда $K=1,3 \dots 1,5$ – из диаметрини ўзгариш коэффиценти; ρ – золдир материалнинг зичлиги.

Тезлик ва қайта ишланадиган материалнинг HB қаттиқлиги ўзгармас бўлганда изнинг радиуси золдир диаметрига тўғри пропорционаллиги (9) ифодадан кўриниб турибди. Материалнинг қаттиқлиги ошганда изнинг радиуси камаяди (5-расм), бунда қаттиқликнинг барча ўзгариш диапазонида изнинг a радиуси $v = 30$ м/с га нисбатан $v = 50$ м/с да каттадир. Бу эса деформация ўчоғини шаклланишига сабабчи бўлган кинетик энергиянинг катта қиймати билан изоҳланади. Тезлик 10 дан 70 м/с гача ошганда изнинг радиуси 2,65 мартагача ошади.

Ишда биринчи марта адабиёт манбаларида келтирилган қаттиқ заррачанинг параметрлари ва физик-механик характеристикалари билан

ҳисобдаги боғланишларни ифодалаш мақсадида зарбада тезликни k тикланиш коэффициентини аниқлашнинг аналитик усули ишлаб чиқилган. k коэффициентини маълум бўлган ҳисоблаш-тажриба усули амалда катта меҳнатни талаб қилиши билан ажралиб туради, чунки кўп тажрибалар ўтказиш ва зарба чуқурлари параметрларини синчиклаб аниқ ўлчаш зарур бўлади.

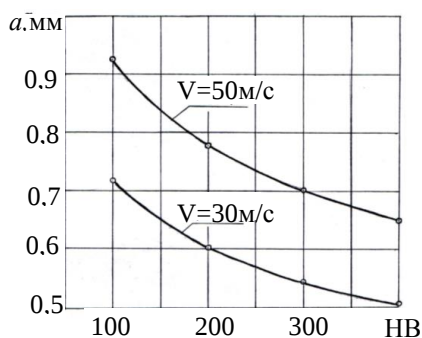
Заррачани металл тўсиқ билан таъсирланишида металлни қайишқоқ-пластик деформацияси оқибатида унинг дастлабки кинетик энергияси $W_0 = mv_0^2/2$ (зарбадан олдинги энергия) йўқотилади. Шунинг учун заррачанинг v_1 қайтиш тезлиги v_0 дан кам бўлади. Заррачанинг кейинги энергияси $W_1 = mv_1^2/2$ га тенг бўлади. Натижада уриладиган заррача кинетик энергиясининг ΔW абсолют камаиши қуйидагича бўлади:

$$\Delta W = \frac{mv_0^2 - mv_1^2}{2} \quad (10)$$

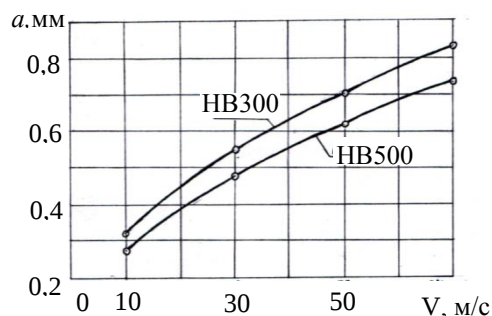
Бундан тикланиш коэффициенти формуласини аниқлаймиз:

$$k = \sqrt{\frac{W_0 - \Delta W}{W_0}} = \sqrt{\frac{W_1}{W_0}} \quad (11)$$

Қаттиқ золдирли зарбадан кейинги кинетик энергияси W_1 га тенг бўлган таъсиридаги локал зонани қайишқоқ тикланиш ишини билиш муҳимдир.



а)



б)

5-расм. Изнинг a радиусини қайта ишланадиган материал қаттиқлигига (а) ва золдирнинг тезлиги v (б) $v = 30$ м/с; $D = 1$ мм режимда қайта ишлаш тезлигига боғлиқлиги

Мейер қонуни ва қаттиқ заррачани текисликка статик таъсирини, геометрик боғланишларини қўллаб сферик иденторни қайишқоқ-пластик таъсирини босиш P кучи учун қуйидаги боғланиш ўринлидир:

$$P = \frac{4}{3} \pi R_1^3 \cdot N \cdot h^2 \cdot k^2 \quad (12)$$

бу ерда N – золдир диаметрига боғлиқ материални характерловчи доимий катталиқ; n – золдир диаметрига боғлиқ бўлмаган, аммо битта материал учун пухталаш билан материални характерловчи доимий катталиқ, одатда 2 дан (қизитилганда) 2,5 гача (тобланганда) тенг деб олинади; $R_1 = D/2$ – золдирнинг радиуси; h – қаттиқ заррачани эзиш баландлиги.

Майер ифодасидаги материалнинг хусусиятини ифодаловчи n ва N , қийматлари $n=2$ ва $N = \pi H_\mu / 4$ бўлганда, (бунда H_μ – Мейер бўйича қаттиқлик, W_1 – қайишқоқлик) тикланиш иши қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$W_1 \otimes Q_1^{\otimes 5} \cdot H_{\mu}^{\otimes 5} \cdot V_0^{\otimes 5} E_n. \quad (13)$$

Шундай қилиб, (11) ифодага асосланиб зарбадаги тезликнинг тикланиш коэффициентини ҳисоблаш формуласи қуйидагича бўлади:

$$K \leq \sqrt{\frac{0.5}{\Phi_1} \frac{1}{H} \frac{0.5}{\Phi_6} \frac{0.5}{V} E_{th}} \quad (14)$$

Тўғри зарбада тезликни k тикланиш коэффиценти кинетик энергия, заррача материалига, тўсиқ материалини қаттиқлигига, ўзаро урилувчи жисмларни қайишқоқлик модули ва Пуассон коэффицентида боғлиқлигини (14) ифодани тахлили кўрсатиб турибди. (14) ифодада ҳисобланган k тикланиш коэффиценти қийматини тажрибада аниқланган натижалари билан таққослаш уларни ўзаро юқори даражада яқинлигини кўрсатди: 45 маркали пўлат учун $k_{\text{хис}}=0,476$, $k_{\text{экс}}=0,458$; армко-темир учун $k_{\text{хис}}=0,317$, $k_{\text{экс}}=0,316$. Ҳисоблашда тажрибалар шарти ва керакли параметрлар қуйидагича олинади: пўлат шарикларнинг диаметрлари $2R_1=10^{-3}$ м; оғирлиги $m=4,09 \cdot 10^{-6}$ кг; шарчаларнинг отилиш бурчаги $\alpha=90^0$; шарик тезлиги $V_0=22,7$ м/с; тўсиқ материали – 45 маркали пўлат (197 НВ ёки НВ1030 МПа); таъсирланувчи материалларнинг қайишқоқлик характеристикалари $E_1=E_0=2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu=\mu_0=0,3$.

Детални золдир билан қайта ишлашда унинг юза қатламини сифатини тадқиқ қилишда СЭМ ни қўллаш жараёни энергия балансини албатта тахлил қилиш кераклигини кўрсатади.

Энергия баланси золдирни детал юзаси билан зарбасини ҳаракатнинг айрим тугалланган босқичидаги жараёнлар: қайишқоқликни, пластикликни инобатга олиш, жисм юзасидан саклашини кўриб чиқиш асосида тузилган. Ушбу бобда деталларнинг зарбадаги ЮПД жараёнини иссиқлик ҳолати тахлили ҳам бажарилган. Золдирни металл юзаси билан ўзаро зарба жараёни учун иссиқлик, механик ва ички энергияларнинг боғланиш тенгламаси олинган:

$$V_0(\mathbf{k}) = \Delta + \epsilon_{\mathbf{k}} + \epsilon_n. \quad (15)$$

Қаттиқ заррани (золдирни) деформацияланмаслигини тахмин қилиб қуйидагиларни ёзиш мумкин: $\Delta U = \Delta U_u + \Delta U_{ш} \approx \Delta U_u$. Юза қатлами сифатини шаклланиш масаласида ички, энергияни ўзгаришини ҳисобга олиш зарурдир. Иссиқлик, хусусан, зарбада ўртача таъсир ҳарорати физикаси масаласини ечишда ΔU катталиги назарга олинмайди.

Жисмни золдир зарбаси натижасидаги хоҳлаган нуқтаси хароратини ҳисоблаш тенгламаси қуйидагича олинди:

$$\frac{4\pi R^3}{3} \exp\left[-\frac{R^2}{4t}\right] \quad (16)$$

бу ерда $\theta(x,y,z,t)$ – жисм ҳарорати, $^{\circ}\text{C}$; b – иссиқлик интенсивлигини шарда тарқалишини характерловчи коэффициент; λ – иссиқликни ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$; $\omega = \lambda / (c \rho_m)$ – ҳароратни ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{м}^2/\text{с}$; $c \rho_m$ – ҳажмий иссиқлик сифими, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; c – солиштирма иссиқлик сифими; ρ_m – материалнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\sqrt{R_0^2 + 4\lambda^2 t^2}$ – иссиқлик манбаидан қўрилайётган нуқтагача масофа, м .

Золдирни максимал кириш чуқурлиги ва жисм юзасидаги таъсир вақтига тенг t вақтни ҳисоблаш учун жисмни қайта ишланадиган муҳитда ҳаракатланиш тенгламасини кўриб чиқиш зарур:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = -2R\sigma_T h \quad (17)$$

бу ерда m ва R – золдир массаси ва радиуси; σ_T – тўсиқ материални оқувчанлиги; h – шарикни ёзиш чуқурлиги.

Золдирнинг m массаси унинг ҳажми ва ρ_m зичлиги кўринишидаги (17) дифференциал тенглама ечимини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$h = D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} \sin \left(\frac{1}{D} \sqrt{\frac{6\sigma_T}{\rho_m}} t \right), \text{ мм; } t = \frac{\pi}{2} D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}}, \text{ с.} \quad (18)$$

Тўртинчи бобда арра тишлари ва колосниклар юза қатламларини золдир билан қайта ишлаб мустаҳкамлаш сифатини назарий ва тажрибавий тадқиқотларнинг натижалари, СЭМ орқали шаклланган технологик қолдиқ кучланишларни текшириш мақсадида статик ЮПД ва қирқиб қайта ишланган тажрибаларнинг айрим натижалари келтирилган.

Аррали диск тишларини золдир билан қайта ишлаш тажрибавий тадқиқотлари Чкалов номидаги авиация ишлаб чиқариш бирлашмасининг УДП-2-3.5 саноат қурилмасида амалга оширилди. Бу мослама (6-расм) масъул деталларнинг юзаларини мустаҳкамлаш учун мўлжалланган бўлиб, 12 серияда ишлаб чиқарилган золдирни отувчи 42115, 42125 аппаратлардан иборат.

Деформациялаб мустаҳкамлаш текшириладиган юзаларга нисбатан $\alpha = 5^{\circ}04'$ бурчак остида олинган қирқимларда қия микрошлифларда H_μ микроқаттиқликни ўлчаш орқали аниқланади. Тажрибалар тўрт томонли олмос пирамидали ПМТ-3 ускунасида ўтказилди. H_μ микроқаттиқлик 0,98 Н юкланишда олинган изларнинг диагоналлариини ўлчаш натижалари орқали деформациядаги мустаҳкамлик, пухталаш чуқурлиги h_n , U нинг даражаси ва чуқурлик бўйлаб пухталаш интенсивлиги U_{gr} – пухталаш градиенти орқали аниқланди.

Тангенциал қолдиқ кучланиш узлуксиз тензометрик датчикларни қўллаб, махсус аппаратдан фойдаланиб ҳалқали намуналардан акад. Н.Н. Давиденков усулида аниқланди.

Қайта ишланган юза нотекислигини тадқиқоти “Калибр” корхонасида ўтказилиб 201 моделдаги профилометр-профилографида R_a параметрини интеграл қийматлари, фиксацияси – профилни ўртача арифметик қийматини оғиши ва профилографларни электр ўтказувчи қоғозда ёзиш орқали аниқланди.

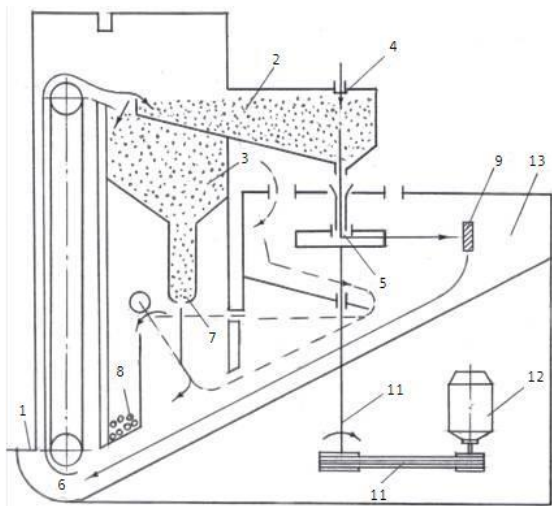
Зарба берувчи золдирни W_0 бошланғич кинетик энергияси орқали ифодаланган P максимал зарба кучини ҳисоблаш ифодаси олинди:

$$P = \sqrt{2W_0 D \sigma_T}, \text{ Н} \quad (19)$$

(19) ифодани деформацияловчи куч сифатида С.Г. Хейфецанинг маълум формуласидан фойдалансак қуйидаги кўринишда бўлади:

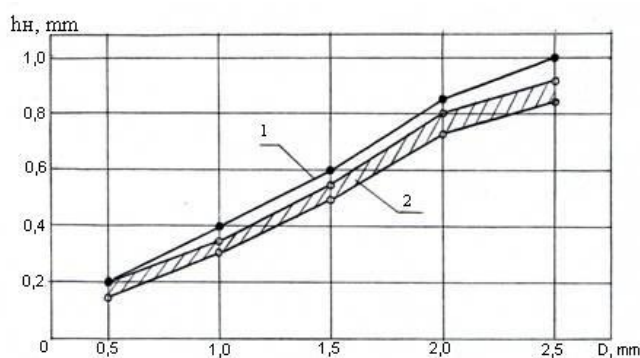
$$h_n = \sqrt{\frac{W_0 D \sigma_T}{\rho_m}}, \text{ мм.} \quad (20)$$

(20) формула орқали ҳисобланган h_H пухталаш чуқурлиги етарли даражада тажриба натижаларига мос келади, тафовут 8,5...14,3 % атрофидадир (7-расм). У8Г маркали пўлат намуналари юза қатламининг микроқаттиқлигининг тажрибавий тадқиқотлари золдир билан қайта ишлаш вақти 1 минутдан 4 минут оралигида, юза микроқаттиқлиги $H_\mu=3560$ МПа бўлганда пухталаш чуқурлиги 0,06 мм га ва U даражаси 9,8 % га ўсганлигини кўрсатди.



1 – элеватор бункери; 2 – бункерни таъминловчи мосламаси; 3 – бункерни сепаратори; 4, 7 – дросселлар; 5 – золдирни отувчи ғилдирак ротори; 6 – элеваторни пастки йиғувчиси; 8 – бункер; 9 – қайта ишланадиган детал; 10 – вал; 11 – тасмали узатма; 12 – электродвигатель; 13 – ишчи камера; узлуксиз стрелка - золдир; узлуксиз штрик - хабо

6-расм. УДП-2-3.5 золдир отувчи аппаратнинг принципиал схемаси



1 – тажриба маълумотлари;
2 – ҳисоб натижалари
7-расм. Титан қотишмаларни золдир билан қайта ишлашда деформациялаб мустаҳкамлаш h_H пўлат золдирлар урилганда ҳосил бўладиган чуқурлиги D диаметрига боғлиқлик графиклари ($\sigma_T = 780-1075$ МПа)

Максимал мустаҳкамлаш даражаси $U=33,4\%$ $t=4$ минут бўлганда эришилди ($v=30$ м/с, $D=0,6$ мм). Бу режим мустаҳкамланган қатламни чегаравий қалинлиги $h_H=0,23$ мм бўлишини таъминлайди.

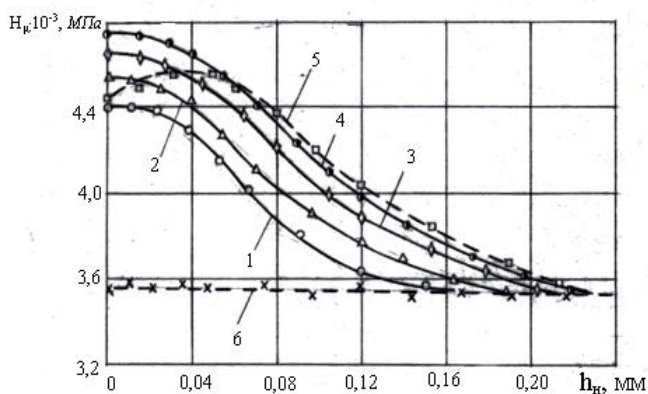
Золдир билан қайта ишлаш вақти 6 минут ва ундан юқори бўлиши мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда намуналар юзасининг микроқаттиқлиги камаяди ва максимал қаттиқлик намуналарни устки қатламларига силжийди (8-расм). Золдирни ҳаракат тезлиги 8 дан 30 м/с ва $t=4$ минут бўлганда пухталаш даражаси 14 дан 28 % гача ошади. Тезликни ва вақтни оширилиши ўта пухталаш оқибатида деформацияли мустаҳкамлашни пасайтиради.

Жин арралари тишини қайта ишлашда D диаметрини ва уни тезлигини ошириш золдирни кинетик энергияси ва мустаҳкамланадиган детални юза қатламининг пластик деформациялаш жараёнини интенсивлашиши h_H пухталаш чуқурлигини ортишига олиб келади (9-расм).

У8Г маркали углеродли пўлат асбоби диаметри $D=0,4$ мм бўлган золдир билан $v=30$ м/с, $t=3-4$ минутда заррача билан мустаҳкамлашда юза нотекислиги параметрлари: ўртача арифметик оғиш R_a 2,4 дан 1,8 мкм, нотекисликлар баландлиги R_z 5,5 дан 4 мкм га камайишини тадқиқотлар кўрсатди.

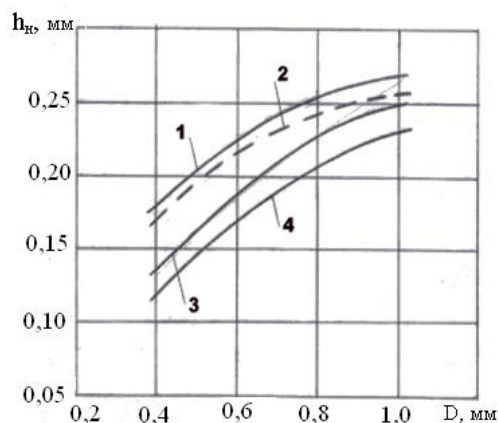
Силлиқланган намуналарни худди шундай режимларда золдир билан қайта ишлаш R_a нотекислик баландлигини 0,2...0,3 мкм гача ортишига олиб келади. Золдир тезлиги ошиши билан нотекислик ҳам ортади.

Машина деталларини золдир зарбаси билан мустаҳкамлигини оширишдаги ўзига хослиги шундаки, мустаҳкамланадиган юза нотекислиги унинг юзасини дастлабки геометрик ҳолатига, диаметрига, золдирни ҳаракат тезлигига боғлиқ равишда ошиши ёки камайиши мумкин.



1 – $t=1$ мин; 2 – $t=2$ мин; 3 – $t=3$ мин;
4 – $t=4$ мин; 5 – $t=6$ мин; 6 – H_μ в исходном состоянии

8-расм. У8Г маркали пўлатни H_μ микрокаттиқлигини h_n юза қатлами чуқурлиги бўйича золдир билан қайта ишлаш вақтича нисбатан тақсимланиши



1 – $v=30$ м/с; 2 – $v=30$ м/с (назарий берилганлар); 3 – $v=16$ м/с; 4 – $v=8$ м/с
9-расм. Золдир билан қайта ишлашда h_n пухталаш чуқурлигини заррача D диаметрига боғлиқлиги

Бу бобда металлни юза қатлами сферик идентор билан қайта ишлашда қайишқоқ-пластик деформация кинетикаси таҳлили асосида нотексликни шаклланиш қонуни ва унинг R_z баландлиги аналитик усулда аниқланди. Нотекисликнинг R_z баландлиги ишлаб чиқилган назарий усул асосида қуйидаги формула орқали аниқланди:

$$R_z = \sqrt{\frac{P_m}{G_T}} - \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{0.5\sqrt{\frac{P_m}{G_T}}}} \quad (21)$$

R_z параметрининг ҳисобланган қиймати тажрибавийлигига нисбатан 5,8...10,5% га тафовут қилишлиги, амалда ушбу ҳисоблаш усулидан фойдаланиш мумкинлигидан тасдиқлайди. Юза қатлами сифатининг шаклланишини структуравий-энергетик моделига асосланиб машина деталларини золдир билан қайта ишланишида ҳосил бўладиган технологик қолдиқ кучланишларни ҳисоблаш бўйича қуйидаги алгоритм ишлаб чиқилди: 1. Пластик изнинг радиусини ҳисоблаш. 2. Пластик радиусига мос P – статик

куч аниқлаш. 3. Нормал босим p_0 ва кучланиш σ_i интенсивлигини формула ёрдамида ҳисоблаш. 4. Тезликни тикланиш коэффицентини аниқлаш. 5. Тезликни тикланиш коэффицентини назарга олиб қаттиқ сферик золдирнинг зарба энергиясини ҳисоблаш. 6. Юза қатлами энергияси U_s ни ўзгаришига тенг захира деформация энергиясини аниқлаш. 7. Қолдиқ кучланиш интенсивлигини аниқлаш.

Қолдиқ кучланишлар интенсивлигини ҳисоблаш учун номограмма кўринишидаги золдир билан мустаҳкамлаш режимидан илгари ўтказилган, амалда фойдаланилди.

Золдир билан уриб қайта ишлаш режими ва шароити қуйидагича: қайта ишланадиган материал қаттиқлиги HV80...560; золдир диаметри $D = 0,5...3$ мм; золдирнинг сарфи $q = (0,75...12) \cdot 10^{-3}$ кг/(см²·с); золдирнинг тезлиги $v = 30...80$ м/с.

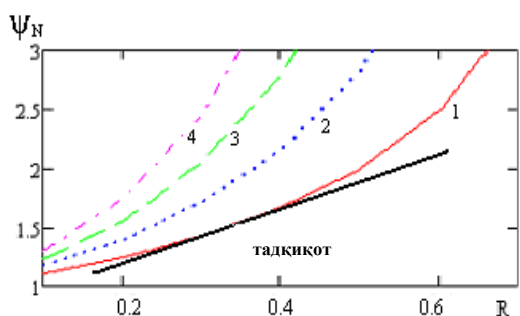
Берилган алгоритм бўйича ҳисобланган юза қатламини z чуқурлигидаги қолдиқ кучланишларнинг интенсивлиги қуйидагича:

$$\sigma_{i_{кол}} = 1094 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,05 \text{ мм}; \quad \sigma_{i_{кол}} = 1082 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,1 \text{ мм};$$

$$\sigma_{i_{кол}} = 933 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,2 \text{ мм}.$$

Қолдиқ кучланишлар интенсивлигини назарий қийматини тажрибавийдан

2...10% га фарқ қилиши пахтани қайта ишлаш машиналари аррали дискларининг муддатли ва толиқишга мустаҳкамлигини эксплуатация юкланишларни назарга олиб фойдаланишга имкон беради.



1 – $m=2$; 2 – $m=3$; 3 – $m=4$; 4 – $m=5$

10-расм. Биргер модели учун нисбий муддатли ψ_N мустаҳкамликни m нинг турли қийматларидаги R қолдиқ кучланишлар коэффицентига боғлиқлиги

Диссертация ишининг бешинчи боби

пахтани дастлабки ишлаш машина деталларини юза қатламидаги технологик қолдиқ кучланишларни назарга олиб толиқиш ва муддатли мустаҳкамлигини ишлаб чиқиш методига бағишланган. Ишлаб чиқаришда текшириш ва аррали дискларни мустаҳкамлашдаги қайта ишлаш тадбиқининг самарасини иқтисодий баҳолаш натижалари келтирилган.

Маълум бўлган кучланишлар цикли (σ_a , σ_m), чидамлилик чегараси σ_{-1} ва мустаҳкамлик чегараси σ_b (Гудман чизиғи, Биргера, Гербера, Мэрина параболалари) параметрларини таҳлили асосида технологик қолдиқ кучланишларни ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Масалан, Биргер параболаси учун

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} \right)^2 + \frac{\sigma_m}{\sigma_s} = 1, \quad (22)$$

$\sigma_m=0$ кучланишнинг симметрик циклидаги қиймати қуйидаги ифодага мос келади

$$\sigma_a = \sigma_1 \sqrt{1 - \frac{\sigma_{i\text{кол}}}{\sigma_\epsilon}}. \quad (23)$$

Пардозлаб-мустаҳкамлашда қайта ишлаш ва кесиш жараёнида деталларни юза қатламида кучланишида ҳажмли қолдиқ майдони ҳосил бўлади. Аммо уларни кичик чуқурликда ётиши сабабли тангенциал ва ўқ бўйлаб кучланишларнинг ҳосил қиладиган текис қолдиқ кучланишлар сифатида қабул қилинган.

Қайишқоқлик назариясидан келиб чиқиб, кучланиш ҳолати σ_i кучланиш, қолдиқ кучланиш ҳолати $\sigma_{i\text{кол}}$ интенсивлиги билан характерланади.

Бузилишгача цикл сони N_p ни қолдиқ кучланишлар $\sigma_{i\text{кол}}$ интенсивлигини боғловчи симметрик ҳолат учун қуйидаги ифода олинган:

$$N_p = N_0 \left(1 - \frac{\sigma_{i\text{кол}}}{\sigma_\epsilon} \right)^{-\frac{m}{2}}, \quad (24)$$

бу ерда N_0 - толиқиш эгри чизигини синиш нуқтасига мос цикл сони; σ_a - циклдаги кучланиш амплитудаси (қолдиқ кучланишларни назарга олингандаги чидамлилиқ чегараси); $m=C/K_\sigma$ – толиқиш эгри чизигини чап томонининг қиялигини ифодаловчи коэффицент (углеродли пўлат учун $C=12\ldots 20$, лигерланган пўлат учун $C=20\ldots 35$); $K_\sigma=\sigma_{-1}/\sigma_{-1д}$ – толиқишга қаршилиқни ҳамма факторларининг таъсирини инобатга олувчи коэффицент; $\sigma_{-1д}$ – деталларни чегаравий мустаҳкамлигини ҳисобга олиб углеродли пўлатлардан қилинган маҳсулотлар (аррали дисклар) учун $m=C/K_\sigma=2\ldots 5$, лигерланган пўлатлар учун $m=3,33\ldots 8,75$.

Турли боғланишлар (моделлар) учун олинган (24) кўринишдаги ифода қолдиқ кучланиш коэффиценти $R=\sigma_{i\text{кол}}/\sigma_B$ ва нисбий муддатли мустаҳкамлик $\varphi_N=N_p/N_0$ даги боғланишини сонли ва сифатли баҳолашга имкон беради.

Бобда тишлари мустаҳкамланган аррали жинни Тошкент вилояти Бўка пахта тозалаш корхонасининг жин-линтер цехида ишлаб чиқариш шароитида ўтказилган тажриба натижалари келтирилган. Ишлаб чиқаришдаги тажрибада УДП-2-3.5 саноат мосламаси диск юзалари мустаҳкамланган (қайта ишлаш режими: золдир тезлиги $v=30\text{ м/с}$, золдир диаметри $D=0,6\text{ мм}$, ишлаш вақти $t=4\text{ мин}$, золдирнинг сарфи $q=250\text{ кг/мин}$).

Жин арра дискларини муддатли чидамлилиги 5/3 сортли, С-6524 селекция навли, намлиги 13,1%, кўлда терилган пахта хом ашёсини қайта ишлашда мавжуд жин арраларига нисбатан 1,7...2,0 марта ошганлигини кўрсатди. Арра тишлари юза қатламларидаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_B=1000\text{ МПа}$ бўлган сиқувчи қолдиқ кучланишлар сатхи $\sigma_{i\text{кол}}=200\ldots 600\text{ МПа}$ атрофида бўлди.

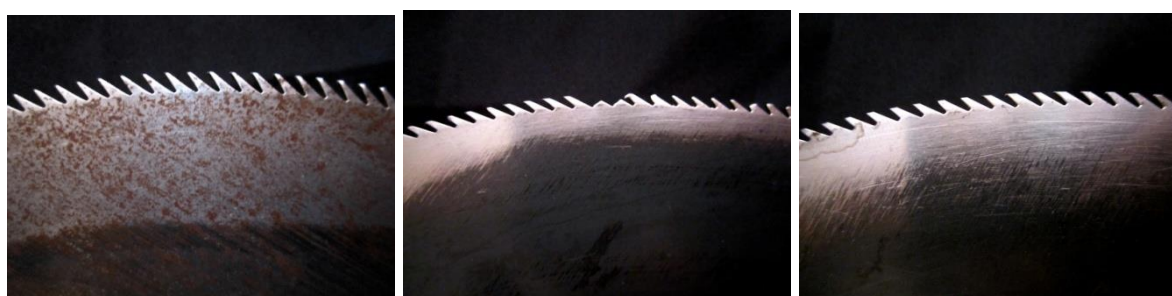
Мустаҳкамланган жин арраларини пахта тозалаш корхонаси шароитидаги тажрибавий тадқиқот натижалари $m=2$ учун Биргер ифодаси билан мос келади ҳамда нисбий муддатли чидамлилиқ φ_N ни чизиқли боғланиши қуйидагича олинди (10-расм):

$$\varphi_N = 27 R + 0,5. \quad (25)$$

Бу боғланиш мустаҳкамланган аррали дискларни сиқувчи қолдиқ кучланишларга ва материални мустаҳкамлик чегарасига боғлиқ муддатли мустаҳкамлиги ҳақида маълумотга эга бўлишга имкон беради.

Аррали дискларнинг ҳолатини таққослаш таҳлили мустаҳкамланган тишларни (11-расм, а) эксплуатация вақти $T=672$ соат бўлишига қарамай амалда ўз шакли ва геометрик параметрларини, шунингдек тиш учининг ўткирлигининг сақланишини кўрсатди.

Мустаҳкамланган жин арраларининг тишлари $T=168$ соат ишлатилганда орқа юзалари яроқсиз ҳолда тўртбурчакли юза кўринишида $\Delta l=1,3 \dots 1,5$ мм гача ейила бошлади. Бунда ейилиш билан бир вақтда тишни h баландлиги ва қўшни тишларнинг технологик оралиғи камайди. Натижада тиш чўққиси ўткирлигининг камайиши жинлаш жараёни унумдорлигини пасайтирди.



а)

б)

в)

11-расм. Тишлари мустаҳкамланган (а), мустаҳкамланмаган, синган ва пластик деформацияланган (б), тишлари ейилган (с) жин арралари.

Тишлари золдир билан қайта ишланган аррали дисклар тола ва чигитнинг сифат кўрсаткичларини етарлича сақлаши аниқланди.

Жадвал

Тола ва чигит сифат кўрсаткичлари

№	Технологик кўрсаткичлар, % да	Тишлари мустаҳкамланган арра тишлари билан жинлаш	Заводдаги мавжуд аррали дисклари билан жинлаш
1	Пахтанинг намлиги	13,1	13,1
2	Толанинг намлиги	6,46	6,46
3	Тола чиқиши	26,38	26,12
4	Чигит тукдорлиги	12,45	12,7
5	Чигит шикастланиши	7,33	7,73

Тишлари золдир билан мустаҳкамланган аррали дискларни Тошкент ва Андижон вилоятларидаги иккита пахта тозалаш корхоналарида тадбиқ этилганда йиллик иқтисодий самарадорлик 80992,0 минг сўмни ташкил қилди.

ХУЛОСА

1. Машиналарнинг ишчи органлари муҳим деталларининг юза қатлами механик қайта ишлашда ҳосил бўладиган технологик қолдиқ $\sigma_{\text{кол}}$, кучланишларнинг структуравий-энергетик моделининг шаклланиш ва ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

2. Технологик қолдиқ кучланишларнинг деформацияни U_s яширин энергиясига боғлиқлигини аниқлашнинг учта усули тавсия қилинди: термодинамиканинг биринчи қонуни дислокациялаш ва тегишли энергетик боғланишлар (дислокация назарияси), конструкцион материалларнинг $\sigma_i=f(\varepsilon_i)$ схемалашган деформацияси диаграммаси усулларида бири орқали аниқланиши кўрсатилган.

3. Қаттиқ жисмларни золдир билан қайта ишланадиган юзаси билан зарба қатламида тезликни k тикланиш коэффицентини аниқлашнинг аналитик усули аниқланди: бикр сферик қаттиқ золдир оқимининг ўртача тезлиги v_0 да $\alpha=90^\circ$ бурчак остида қайишқоқ яримфазодаги (деформацияланадиган бир тоифали ва изотрон жисм), бир актли ўзаро зарбаси аниқланган.

4. Структуравий-энергетик модел асосида юза қатлами ички энергияси ΔU га тенг жамланган солиштирма энергия U_s ни ишлаб чиқилган учта усуллардан (термодинамик, дислокация ва қайта ишланадиган материални диаграмма) бири орқали аниқлашга имкон берадиган ўзаро боғлиқлик қонуниятлари олинган.

5. Ишда қирқиладиган қатламни қирқувчи асбоб билан кесишда ҳосил бўладиган деформациянинг яширин энергияси U_s учун энергетик балансни термодинамик таҳлили базасида ва ЮПД ни статик усулида боғланишлар олинган.

6. Машина деталлари юзаларига золдирни отиш билан мустаҳкалашдаги структуравий-энергетик модел асосида технологик қолдиқ кучланишларни ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Термодинамиканинг биринчи қонуни ($\sigma_{i \text{ кол}}=1095 \text{ Н/мм}^2$) ва дислокация назарияси ($\sigma_{i \text{ кол}}=1061 \text{ Н/мм}^2$) базасида СЭМ бўйича ҳисобланган қолдиқ кучланишларнинг ҳисоб қиймати тажрибавий тадқиқотлар натижаларига ($\sigma_{i \text{ кол}}=1080 \text{ Н/мм}^2$) билан мос келган, натижаларнинг ўзаро фарқи тегишли равишда 1,4 ва 1,7% дир. Бу эса машина деталларининг муддатли ва толиқишга мустаҳкамлигини баҳолашда қолдиқ кучланишларнинг назарий ҳисоблаш асосида топилган қийматидан фойдаланиш мумкинлигини билдиради.

7. Қолдиқ кучланишлар майдони учун чизиқли бўлган кучланишларнинг тензор варианты бажарилишига асосланган, яъни $\sigma_{x \text{ кол}}$ ўқ бўйлаб ва биринчи варианты $\sigma_{y \text{ кол}}$ тангенциал қолдиқ кучланишлар ва уларни $\sigma_{i \text{ кол}}$ интенсивлик қийматларига эга бўлиб, $\sigma_{1 \text{ кол}}$ ва $\sigma_{2 \text{ кол}}$ бош қолдиқ кучланишларни ҳисоблаш мумкин бўлади. Бу кучланишлардан статистик ва циклик юкланиш шароитида мустаҳкамликни ҳисоблашда фойдаланилади.

8. Конструкцияларни циклик юклашда технологик қолдиқ кучланишларни мустаҳкамликка (кутарувчанлик қобилятига), циклик

толиқишга ҳисоблаш алгоритми ва пахтани қайта ишловчи машиналарнинг аррали дискларини ишлаш ресурсига таъсири кўрилган.

9. Абсолют қаттиқ сферани (шарикни) қайта ишланадиган муҳитли (яримчексиз қаттиқ жисм) таъсирида қаршилиқни ёки оқимнинг ўртача босимини (σ_T оқим чегараси) доимий деб, h_n эзлиш чўнқирлигини аниқлаш формуласи олинди. h_n нинг қийматини ишончлилиги бошқа тадқиқотчиларнинг тажриба натижалари билан мос келиши тасдиқланган. Аррали диск тишларини золдир билан қайта ишлаш параметрлари деформациялаб мустаҳкамлашнинг чуқурлилигига ва даражасига таъсирининг асосий қонуниятлари олинган. Қайта ишлашни оптимал режимлари: золдирнинг тезлиги $v=30$ м/с, золдир диаметри $d=0,6$ мм, қайта ишлаш вақти $t=4$ мин аниқланган. Бу режим юза микроқаттиқлигини максимал $H_\mu=4560$ МПа ва пухталаш даражасининг $U=33,4$ % бўлишини таъминлади.

10. Тишлари мустаҳкамланган аррали дискларни назарий ва амалий (тажрибавий) қийматлари бир-бирига яқинлиги (8...12%) тасдиқланган. Тишлари золдир билан қайта ишланган жин арраларини юқори самарадорлиги ишлаб чиқаришда текшириш асосида тасдиқланди. Тажрибалар қўлда терилган сорти 5/3, нави С-6524, намлиги 13,3% пахтани ишлатиб ўтказилди. Аррали дискларни муддатли чидамлилигини ошиши (икки ва ундан ортиқ) юза қатламини микроқаттақлигини ошиши ва тишлар ўзагини қовушқоқлигининг сақланиши натижасидир. Заррача билан қайта ишлаш аррали цилиндрни қумли ваннада қайта ишлашдан афзаллигини йўқотади, чунки заррача оқими таъсирида ғадир-будирликлар камаяди ва тишларни 0,2...0,3 мм ли қирраларини ўтиш жойлари ҳосил бўлади.

Пахта хом ашёсини тишлари мустаҳкамланган аррали дисклар билан жинлаш тола ва чигитнинг сифатини яхши сақлайди. Жин арраларини Тошкент ва Андижон вилоятларидаги иккита пахта тозалаш корхоналарида ишлаб чиқаришга тадбиқи 80992,3 минг сўм иқтисодий самарадорликка олиб келди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
НАУК 16.07.2013.Т.06.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ
ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ШИН ИЛЛАРИОН ГЕОРГИЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ХЛОПКА**

**05.02.03 - Технологические машины. Роботы, мехатроника и робототехнические
системы
(технические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Ташкент – 2014

**Тема докторской диссертации зарегистрирована за № 30.09.2014/В2014.5.Т320
в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан**

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности.

Полный текст докторской диссертации размещен на веб-странице научного совета 16.07.2013.Т.06.01 по присуждению ученой степени доктора наук при Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности по адресу www.titli.uz.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу www.titli.uz и Информационно-образовательном портале "ZiyoNet" по адресу www.ziyo.net.

**Научный
консультант:**

Джураев Анвар Джураевич,
доктор технических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Махкамов Руфат Гулямович,
академик, доктор технических наук, профессор

Ахмедходжаев Хамид Турсунович,
доктор технических наук, профессор

Рахмонов Хайридин Кодирович,
доктор технических наук

**Ведущая
организация:**

Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «25» декабря 2014 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета 16.07.2013.Т.06.01 при Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности по адресу: 100100, г. Ташкент, ул. Шохжахон-5, тел. (+99871)- 253-06-06, 253-08-08, факс: 253-36-17; e-mail: titlp_info@edu.uz.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института текстильной и легкой промышленности (регистрационный номер 03). Адрес: 100100, г.Ташкент, ул. Шохжахон-5, тел. (+99871)- 253-06-06, 253-08-08.

Автореферат диссертации разослан «22» ноября 2014 года
(протокол рассылки № 03 от 22 ноября 2014 г.).

К.Жуманиязов,
председатель научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук д.т.н., профессор

А.Маматов,
ученый секретарь научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.т.н., профессор

Д.Джураев,
председатель научного семинара при
научном совете по присуждению учёной
степени доктора наук, д.т.н., профессор

АННОТАЦИЯ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность и востребованность темы диссертации. Современное машиностроение играет ведущую роль в научно-техническом прогрессе и является базой для успешного развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства. Президентом Республики Узбекистан Исламом Каримовым было отмечено, что по-прежнему в машиностроении важнейшим направлением отраслевой специализации должно оставаться развитие сельскохозяйственного машиностроения, базирующегося на производстве машин и механизмов для хлопкового комплекса республики: «... Хлопок для Узбекистана – это политическая и экономическая мощь, гарантирующая независимость республики».¹

В соответствии с Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 3 апреля 2007 года №70 «О программе модернизации и реконструкции хлопкоочистительных предприятий в период 2007-2011 гг.» перед хлопкоочистительной промышленностью в современных условиях рыночной экономики стоит задача обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции на мировом уровне. Важнейшая составляющая в решении данной проблемы принадлежит технологическому оборудованию – машинам первичной обработки хлопка (очистители крупного сора, джины, линтера, волокноочистители), работоспособность которых в значительной степени определяется долговечностью самой массовой и ответственной детали их рабочего органа – пильного диска, а также колосников.

Технологические методы повышения долговечности деталей являются наиболее эффективными для решения задачи обеспечения эксплуатационной надежности машин. Они позволяют формировать оптимальное (для данных условий эксплуатации) состояние поверхностного слоя деталей, который в условиях эксплуатации подвергается наиболее интенсивному механическому, тепловому, химическому и другим воздействиям. Поэтому потеря деталью своего служебного назначения и ее разрушение в большинстве случаев начинается в поверхностном слое, например, возникновение и развитие усталостных трещин, износа, коррозии и др.

Зубья пильных дисков в процессе эксплуатации испытывают переменные напряжения при значительном числе циклов нагружения, например, при частоте вращения пильного цилиндра $n=730$ об/мин уже в течении 48 часов количество циклов составляет более $2,1 \cdot 10^6$. Такие условия нагружения зубьев при контакте с переменной по массе и плотностью сырцового валика способствуют развитию в них усталостных трещин, пластическому сдвигу и смятию, а наличие в хлопке-сырце твердых включений (гранит, корунд, известняк) вызывает абразивный износ. Высокую износостойкость должны

¹ И. Каримов Узбекистан на пути углубления экономических реформ. – Ташкент: Узбекистан, 1995. – 246 с.

иметь также колосники, составляющие одноименную решетку в джинах и линтерах.

В соответствии с техническим регламентом время эксплуатации и последующая полная замена пильных дисков на рабочем валу составляет в зависимости от сорта перерабатываемого хлопка-сырца 72 – 96 часов для джинных пил, 48 часов – для линтерных пил. С учетом того, что реновация (восстановление) пильных дисков осуществляется пересеканием (джинные пилы 2, линтерные 5 раз) их на новый размер, а также их количества, например, в джинах от 90 до 130 в зависимости от модификации, суммарная потребность пильных дисков для 98 хлопкоочистительных заводов республики исчисляется более 1 млн.штук за один хлопкоуборочный сезон. Положение усугубляется еще и тем, что дорогостоящая углеродистая инструментальная сталь У8Г полностью поставляется из Российской Федерации. Сокращение импорта этого материала за счет резкого увеличения долговечности пильных дисков, безусловно, повысит экономическую эффективность хлопкопереработки из-за снижения себестоимости выпускаемой продукции – хлопкового волокна.

Даже накопленный большой опыт в разработке новых способов повышения надежности деталей оказался неостребованным в должной мере применительно к пильным дискам и для ответственных деталей хлопкоперерабатывающих машин исследования проводились крайне недостаточно. Такие обстоятельства делают необходимым и очень важным выбор из большого арсенала современных средств упрочнения оптимальный вид для данного конкретного случая. Известные в настоящее время методы упрочнения зубьев пильных дисков (электроконтактный нагрев и лазерная обработка) не решают в полной мере проблему повышения их долговечности, так как в результате мощного теплового воздействия на вершину зуба происходит объемная закалка и проявляется эффект термоупрочнения. Объемная закалка не сохраняет сердцевину деталей вязкой и она является нежелательной при действии повторно-переменных нагрузок при изгибе из-за снижения работоспособности и сопротивляемости усталостному разрушению в эксплуатационных условиях.

Наиболее прогрессивным и эффективным методом упрочнения является поверхностное пластическое деформирование (ППД), в частности, дробеударная обработка, относящаяся к динамическим методам ППД деталей машин. Технологические возможности дробеударного упрочнения распространяются в первую очередь для маложестких тонких деталей, отличающихся наличием острых кромок. Этим конструктивным признакам полностью соответствуют зубья пильных дисков, что послужило основанием для нового научно-технического решения с целью увеличения работоспособности хлопкоперерабатывающих машин. Данное решение предусматривает разработку новых научных подходов в теории и практике технологического обеспечения качества и возможность прогнозирования

долговечности деталей по состоянию их поверхностного слоя после упрочняющей механической обработки.

Соответствие исследования приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан и государственной научно-технической программой инновационных исследований: ИП-5 «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации. В современной мировой практике машиностроительного производства, в особенности ведущих промышленно развитых стран (США, Франция, Япония, Германия, Англия, Российская Федерация, Венгрия и др.) имеется положительный опыт по использованию в качестве финишной механической операции при изготовлении ответственных деталей машин различные методы упрочняющей обработки. Вопросы оптимизации режимов и методов механической обработки по обеспечению параметров качества поверхностного слоя деталей технологических машин и механизмов с целью придания им повышенной износостойкости, контактной и усталостной прочности, жесткости отражены в работах таких зарубежных ученых и специалистов, как Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши, Е.М. Трент, Х. Опитц, И.Дж.И. Армарего, Р.Х. Браун, С.В. Серенсен, А.И. Промптов и др.

Фундаментальные исследования физической природы формирования состояния поверхностного слоя, характеризуемого комплексом физико-механических и геометрических параметров, и связанного с ним микроскопической картиной деформации через дислокационную модель пластического деформирования, реализованы в научных трудах видных зарубежных ученых Ж. Фридель (Франция), У. Лю и М. Бэреш (США), Дж. Мартин и Р. Доэрти (Англия), Г. Польцер и В. Эвелинг (Германия), Л. Катор и П. Ньюлис (Венгрия), Т. Екобори (Япония). В исследованиях этих ученых с помощью дислокационной модели пластического деформирования были выявлены закономерности деформации на микроскопическом уровне под действием температурно-силового поля.

Значительный вклад в развитии теоретико-экспериментальных основ применения динамических методов поверхностного пластического деформирования деталей машин составили труды ряда иностранных ученых, например, работы И. Андерсона, Д. Мартина, О. Хоргера, Ван Хауза, И. Олмена, Р. Мэтсона, В. Коулмена, Г. Фукса и др. Многочисленные работы зарубежных исследователей по вопросам формирования параметров качества поверхностного слоя деталей при окончательной обработке и влияния их на эксплуатационные показатели машин позволяют на настоящем этапе развития науки и техники достаточно аргументировано представить и обосновать современные подходы и способы обеспечения высокой технологичности и

эксплуатационной надежности машин за счет увеличения долговечности деталей их рабочих органов.

Степень изученности проблемы. Изучение вопросов, связанных с повышением качества поверхностного слоя деталей машин является одной из актуальных задач в современной технологии машиностроения. В настоящее время установлено, что совокупность показателей (микрогеометрических и физико-механических характеристик) качества обработанной поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изделий машиностроительного производства.

Научные школы под руководством ученых М.М. Саверина, А.А. Маталина, Б.А. Кравченко, Д.Д. Папшева и др. создали теоретические основы формирования остаточного напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя деталей при динамическом поверхностно-пластическом деформировании дробью и разработали практические рекомендации для внедрения их в производство в различных отраслях машиностроения (авиастроение, нефтяное и химическое, сельскохозяйственное и др.). Специфика хлопкосеющего региона и соответствующая перерабатывающая промышленность ставят задачу непрерывного повышения эффективности переработки хлопка-сырца, которую можно успешно решить новыми научно-техническими предложениями в виде упрочняющих технологий, направленными на существенное увеличение долговечности и качества деталей рабочих органов технологических машин.

Научные исследования по упрочняющей технологии ответственных и массовых деталей хлопкоперерабатывающих машин (очистители, джины, линтера, волоконоочистители), представленные в работах Р.Г. Махкамова, Э.М. Абдул-Раззакова, М.Г. Хамова, А.П. Рогова, А.М. Ахмедова крайне недостаточны. В этих работах повышение механических свойств зубьев пильных дисков и пильчатых сегментов машин первичной обработки хлопка достигалось электроконтактным нагревом, лазерным упрочнением и газопламенной закалкой, реализуемыми в виде термоупрочнения. Недостатком термоупрочнения вершины зубьев пильных дисков является то, что высокая твердость закаливаемого объема вершины зуба снижает одновременно сопротивляемость его изгибу из-за потери вязкости конструкционного материала, что инициирует частые поломки в виде хрупкого разрушения. Таким образом, к настоящему времени назрела необходимость проведения научных исследований по изысканию новых технологических решений, направленных на обеспечение высокого качества поверхностного слоя деталей, в частности, разработка и обоснование динамического поверхностного упрочнения дробью, когда силовой фактор контактного взаимодействия индентора с обрабатываемым материалом является решающим в формировании состояния поверхности.

В недостаточной степени разработаны методы прогнозирования долговечности и усталостной прочности деталей машин по остаточному

напряженному состоянию. Решение этой задачи позволит осуществить активное регулирование качеством обработанной поверхности деталей через условия и режимные параметры обработки, геометрию инструмента, что создает основу прогнозной оценки долговечности, учитываемой на этапе проектирования технологических процессов изготовления деталей машин.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ, отражена в проекте:

государственный научно-технический проект ИОТ-2013-5-28 «Повышение работоспособности и прогнозирование долговечности ответственных деталей машин первичной обработки хлопка по квалиметрии их поверхностного слоя после динамического упрочнения дробью»; а также в государственной бюджетной теме «Разработка и исследование эффективных и технологичных конструкций механизмов и деталей машин текстильной и легкой промышленности», выполненной кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» в период 2006-2010 г. в соответствии с планами НИР ТИТЛП.

Целью исследования является разработка технологических методов повышения работоспособности хлопкоперерабатывающих машин путем обеспечения требуемого качества поверхностного слоя деталей рабочих органов и прогнозирование их долговечности в эксплуатационных условиях.

Для реализации поставленной цели определены следующие **задачи исследования**:

разработать метод динамического деформационного упрочнения дробью маложестких деталей – пильных дисков хлопковых машин и определить оптимальные параметры дробеударного упрочнения, обеспечивающие высокое качество поверхностного слоя;

обосновать и разработать метод деформационного упрочнения чугуновых колосников дробеударной обработкой их рабочих поверхностей;

разработать структурно-энергетическую модель контактного взаимодействия твердых тел в процессах механической финишной обработки и поверхностного пластического деформирования ответственных деталей машин;

разработать универсальный метод расчета важнейшего параметра качества поверхностного слоя – технологических остаточных напряжений в зависимости от режимных параметров обработки и физико-механических свойств конструкционного материала;

разработать методы расчета и прогнозирования долговечности деталей машин первичной обработки хлопка в эксплуатационных условиях;

произвести опытно-промышленную проверку и внедрение новых технологических методов упрочнения деталей хлопковых машин с целью повышения их работоспособности и надежности.

Объектом исследования являются детали рабочих органов машин первичной обработки хлопка.

Предмет исследования – качество поверхностного слоя ответственных деталей (пильный диск, колосник, вал пильного цилиндра) хлопкоперерабатывающих машин, сформированное в результате поверхностного пластического деформирования.

Методы исследований. Реализация цели работы и решение поставленных задач осуществлялись теоретическими и экспериментальными исследованиями. Для разработки структурно-энергетической модели формирования технологических остаточных напряжений были использованы фундаментальные положения и законы термодинамики необратимых процессов, теории дислокаций твердого тела, теплофизика технологических процессов, теория упругости и пластичности, гипотезы прочности и разрушения твердых тел. При проведении теоретических исследований широко использованы законы прикладной механики, математической физики и элементы высшей математики.

Экспериментальные исследования дробеметной обработки проводили на промышленной установке УДП-2-3.5, состоящей из 12 дробеметных аппаратов. Исследования параметров качества поверхностного слоя деталей проводили с помощью инструментальных методов на измерительных приборах (микротвердомер ПМТ-3, профилограф-профилометр завода «Калибр»). Экспериментальные исследования качества волокна и хлопковых семян после дженирования проводили в лабораторных и производственных условиях хлопкозаводов. Используются методы тензометрирования, методы статистической обработки экспериментальных данных с использованием компьютерной технологии с вероятной достоверностью результатов 0,95.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана структурно-энергетическая модель формирования и алгоритм расчета технологических остаточных напряжений при поверхностном деформационном упрочнении деталей машин первичной обработки хлопка, основывающиеся на современной концепции физики пластической деформации металла;

разработан метод поверхностного динамического упрочнения дробью зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин (патент на полезную модель «Дробеметная установка для упрочнения деталей» № FAP 00513, 31.12.2009);

установлены на основе экспериментальных исследований оптимальные технологические параметры дробеметной обработки зубьев пильных дисков;

аналитически решена задача по определению коэффициента восстановления скорости k при ударе, используемого для термодинамического анализа контактного взаимодействия твердых тел в процессах динамического упрочнения;

предложен метод оценки глубины деформационного упрочнения (наклепа) при дробеметной обработке зубьев пильных дисков джинов,

базирующийся на дифференциальном уравнении движения твердой сферической частицы в упруго-пластической среде;

разработан механизм формирования высотного параметра шероховатости упрочненной поверхности при ударной деформационной обработке дробью джидных пил;

разработаны методы расчета на многоцикловую усталость и прогнозирования долговечности пильных дисков в эксплуатационных условиях, основывающиеся на аналитическом решении задачи по определению интенсивности остаточных напряжений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан новый, применительно к деталям машин первичной обработки хлопка, технологический метод упрочнения их рабочих поверхностей обработкой дробью; выполнено обоснование оптимальных параметров режима дробеударного упрочнения (диаметр дроби, скорость, время обработки, расход дроби);

разработан алгоритм расчета важнейшего показателя качества поверхностного слоя деталей – технологических остаточных напряжений по уровню запасенной энергии деформации;

разработан метод прогнозирования долговечности и усталостной прочности пильных дисков джинов по значению интенсивности остаточных напряжений после упрочнения дробью;

установлено в результате опытно-промышленной проверки эффективность дробеударного упрочнения зубьев пильных дисков и увеличение их долговечности в несколько раз по сравнению с неупрочненными зубьями.

Достоверность полученных результатов обосновывается корректностью математических и физических моделей при схематизации контактного взаимодействия дроби с упрочняемой поверхностью в виде упругого полубесконечного тела, а также высокой степенью совпадения при сравнении результатов теоретических и экспериментальных исследований, включая данные других авторов.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Теоретическая значимость результатов работы состоит: в разработке структурно-энергетической модели формирования главного параметра качества поверхностного слоя изделия – технологических остаточных напряжений; аналитические зависимости для скрытой энергии деформации, ответственной за уровень интенсивности остаточных напряжений; зависимости для глубины деформационного упрочнения, шероховатости поверхности, контактной температуры, коэффициента восстановления скорости, полученные с помощью математического моделирования при одноактном соударении твердой сферической частицы с металлической преградой.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в доказательстве высокой эффективности динамического метода упрочнения дробью ответственных деталей (пильных дисков, колосников) джинов за счет формирования в их поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений, степени деформационного упрочнения (наклепа) до 33,4%, глубины наклепа 0,2...0,23 мм, что при двусторонней обработке боковых поверхностей зубьев сохраняет сердцевину детали в вязком состоянии, способной длительное время сопротивляться повторно-переменным напряжениям при взаимодействии с сырцовым валиком в процессе дженирования.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов впервые предложен метод и разработана технология динамической упрочняющей обработки дробью зубьев пильных дисков и колосников джинов. Пильные диски с упрочненными дробеметной обработкой зубьев и колосников внедрены на джинах ДПЗ-180 в производство на предприятиях ассоциации «Узпахтасаноат», годовой экономический эффект составляет 80,992 млн. сум. (акт ассоциации «Узпахтасаноат» о внедрении в производство от 04.09.2014).

Апробация работы. Результаты исследования доложены на более 20 научно-технических конференциях, в том числе 8 международных «Прогрессивные технологические процессы в машиностроении» (Тольятти, 2002); «Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства» (Витебск, 2003); «Актуальные проблемы механики и машиностроения» (Алма-Аты, 2005); «Инженерия поверхности и реновация изделия» (Ялта, 2010 – 2013); «Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении» (Одесса, 2010 – 2013); «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» (Ялта, 2010 – 2013); «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (Свалява, 2010 – 2013); «Дни науки» (Прага, 2012).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 56 научных трудов, в том числе 9 научных статей в международных журналах, 2 патента.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, 8 приложений и содержит 264 страниц текста, включает 112 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлены цель и сформулированы задачи исследований, даны элементы научной новизны, изложены научная и практическая значимость результатов работ, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены краткие сведения о современных технологических машинах, применяемых для переработки хлопка-сырца, и дан анализ работоспособности ответственных деталей машин и механизмов, влияющей на надежность и долговечность хлопкоперерабатывающего оборудования.

Показано, что практически во всей технологической цепочке переработки хлопка-сырца (очистка, джинирование, линтерование, делинтерование) применяются хлопкоперерабатывающие машины, где самой массовой и ответственной деталью, составляющей рабочий орган машины, является пильный диск. Количество пильных дисков только в одной машине, в зависимости от назначения и модификации, составляет в пределах от 90 до 130. К массовости данной детали добавляется еще один нежелательный фактор – заготовки в виде дисков из углеродистой инструментальной стали У8Г завозятся полностью из Российской Федерации. Безусловно, сокращение импорта данного конструкционного материала за счет повышения долговечности деталей составит серьезную основу для экономической эффективности переработки хлопка-сырца.

Недостаточность сведений о состоянии рабочих поверхностей деталей рабочих органов машин (пильный диск, колосник, вал пильного цилиндра), влиянии параметров качества поверхностного слоя на усталостную прочность и долговечность изделий, а также практическое отсутствие до настоящего времени комплексного научно-методологического подхода к вопросу формирования качества поверхностного слоя путем синтезирования микро- и макропредставлений процессов пластической деформации и разрушения материалов, инициировали необходимость проведения новых исследовательских работ.

Учитывая, что процесс деформирования материалов при механической обработке представляет достаточно сложный комплекс взаимосвязанных явлений, в работе показана необходимость применения фундаментальных физических законов и сведений из важнейших смежных дисциплин – теории упругости и пластичности, теплофизика, теория дислокаций из физики твердого тела, термодинамика необратимых процессов и др. Научная ценность разрабатываемых моделей непосредственно проявляется в возможности прогнозирования долговечности деталей через основные параметры качества поверхностного слоя, формируемые на окончательных операциях отделочно-упрочняющей и механической обработки резанием.

Вторая глава посвящена разработке структурно-энергетической модели (СЭМ) формирования важнейшего параметра качества поверхностного слоя деталей (технологических остаточных напряжений) после окончательной (финишной) механической обработки со снятием припуска и отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием металлов.

Впервые выполнен синтез микро-и макропредставлений о процессе пластической деформации металлов, представляющей по современным воззрениям непрерывный процесс генерирования, движения и аннигиляции линейных несовершенств кристаллической структуры металлов – дислокаций. Разработан универсальный (энергетический) подход для раскрытия механизма формирования качества поверхностного слоя деталей, основывающийся на смежных и взаимосвязанных отраслях знаний: теория упругости и пластичности, теория дислокаций из физики твердого тела, термодинамика необратимых процессов, теплофизика, трибология, обработка металлов давлением и резанием.

В диссертации отмечено, что процесс разрушения твердых тел и его предшествующая стадия – пластическая деформация имеют единую физическую сущность: способность локальных микрообъемов контактных поверхностей деталей накапливать и трансформировать внутреннюю (скрытую) энергию деформирования U_s . Эта энергия представляет собой плотность энергии, накопленной поверхностным слоем в результате пластической деформации, и является фактически энергией дислокаций. Запасание энергии при пластической деформации приводит к появлению сжимающих остаточных напряжений, блокированию дислокаций и связано с такими физическими процессами, как внутреннее трение, упругий гистерезис, экзоэлектронная эмиссия и др. Следовательно, запасенная энергия может служить основным интегральным и информативным параметром состояния поверхностного слоя, ответственным как за степень деформационного упрочнения, так и за интенсивность остаточного поля напряжений.

При холодном пластическом деформировании (наклепе) металла большая часть (до 97%) механической энергии, затраченной на пластическое деформирование, переходит в тепло, остальная часть ($\approx 0,5...3\%$) аккумулируется в поверхностном слое металла в виде так называемой скрытой энергии наклепа ΔU , понятие которой вводится на основе первого закона термодинамики:

$$\Delta U = W - Q = U_s; \quad |Q| < |W|, \quad (1)$$

где ΔU – изменение внутренней энергии тела; Q – тепловой эффект, связанный с деформацией; W – работа (положительная, если производится над телом).

При деформационном упрочнении или наклепе металла ΔU – положительная величина и равна скрытой энергии наклепа U_s . Вследствие аккумулирования в металле скрытой энергии наклепа деформированное состояние является неустойчивым и возможно наступление

при благоприятных условиях возврата и рекристаллизации, сопровождающихся выделением скрытой энергии. Скрытая энергия U_s деформации представляет научный интерес по нескольким причинам: для исследования процесса пластического деформирования; для анализа физико-механической природы деформационного упрочнения; для исследования процессов восстановления, протекающих в поверхностном слое пластически деформированного металла.

Не все процессы, удовлетворяющие требованию первого закона термодинамики (выполнимость закона сохранения энергии) могут быть реализованы в полной форме. Поэтому необходимо обратиться ко второму закону термодинамики, в соответствии с которым для обратимых процессов отношение dQ/T является полным дифференциалом функции состояния системы. Интеграл этого полного дифференциала есть параметр состояния, являющийся энтропией S системы и как экстенсивная величина пропорциональна количеству вещества:

$$dS = dQ / T \text{ или } dQ = TdS , \quad (2)$$

где dQ – теплота, отдаваемая системе при элементарном обратимом процессе; T – термодинамическая (абсолютная) температура системы во время процесса.

Получено основное термодинамическое соотношение для деформируемых тел, в котором рассмотрены работы сил внутренних напряжений:

$$dU = \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} + TdS , \quad (3)$$

где dU – бесконечно малое изменение внутренней энергии; σ_{ij} – тензор напряжений; $d\varepsilon_{ij}$ – тензор деформаций, равный в общем случае сумме упругих ε_{ij}^y и пластических ε_{ij}^n деформаций.

В уравнении (3) бесконечно малое изменение внутренней энергии dU выражено через теплосодержание системы и изменение тензора деформации $d\varepsilon$. Приращение внутренней энергии dU есть полный дифференциал и независимыми переменными в уравнении (3) являются деформации ε_{ij} и энтропия S .

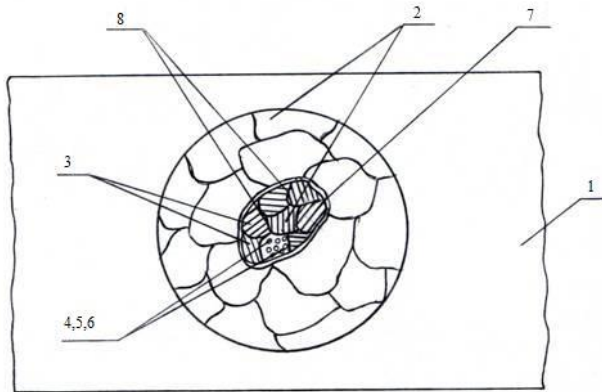
Выразим напряжение σ_{ij} в зависимости от деформации ε_{ij} и энтропии S . Для этого разложим функцию $U(\varepsilon_{ij}, S)$ в степенной ряд в окрестности естественного состояния $U(0, S_0)$ и, удерживая линейные и квадратичные члены, а также ограничивая линейными соотношениями между напряжениями σ_{ij} , деформациями ε_{ij} и изменением энтропии ΔS , получена зависимость:

$$\sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}, S) = \left(\frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} \right)_S = \frac{\partial U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij}} + \frac{\partial^2 U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij} \cdot \partial \varepsilon_{kl}} \cdot \varepsilon_{kl} + \frac{\partial^2 U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij} \cdot \partial S} (S - S_0). \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой линейное соотношение для малых деформаций, в котором следует положить $dU(0, S_0)/d\varepsilon_{ij}=0$, так как в естественном состоянии при $\varepsilon_{ij} = 0$, $S=S_0$ и должно быть $\sigma_{ij} = 0$.

Впервые предложено рассматривать остаточные напряжения II рода как равнодействующие остаточных напряжений III рода, уравнивающих в объемах, соизмеримых с группой атомов в окрестности дислокаций, и

характеризующих фактически величину статических смещений атомов из узлов решетки из-за точечных дефектов. Физического различия между остаточными напряжениями I рода (макронапряжения, охватывающие объемы, соизмеримые с размерами детали) и II рода (микронапряжения, действующие в отдельных зернах, блоках и их группах) не существует и аналогично напряжению первого рода является равнодействующим остаточных напряжений второго рода.



1 – образец; 2 – зерна (кристаллиты); 3 – блоки мозаики; 4,5,6 – соответственно дислокации, атомы, электроны; 7 – границы зерен; 8 – границы блоков мозаики

Рис.1. Структурные элементы кристаллического тела (металла или сплава):

Анализ структурных элементов (рис.1) и схемы иерархии структурных уровней деформации (рис.2) для поликристаллического тела показал тесную взаимообусловленность последних с остаточными напряжениями разного масштаба. В соответствии с положениями физики твердого тела механические напряжения в металле и сплаве, независимо от вызывающих причин (действия сил, температуры, частиц высокой энергии и др. факторов) рассматриваются как следствие искажения кристаллической решетки. Следовательно, как для остаточных микронапряжений, так и

субмикроскопических, существует только единственная физическая модель механизма формирования этих напряжений – атомная или дислокационная модель. Другими словами, чтобы понять и описать природу пластического течения металла, необходимо анализировать дислокационный структурный уровень в поверхностном слое деформируемых кристаллических тел.

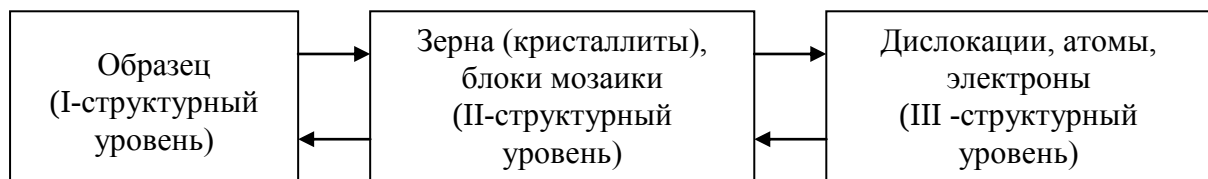


Рис.2. Иерархия структурных уровней деформаций для поликристаллического тела

Относительный вклад дислокаций, вакансий и внедренных атомов в аккумулированную энергию соответствует соотношению 4,5:2:1. Таким образом, основным источником аккумулирования скрытой энергии являются линейные несовершенства кристаллической структуры металлы – сеть дислокационных линий, которые приводят к упругим искажениям и, следовательно, к созданию остаточных напряжений.

Для исследования взаимосвязи скрытой энергии U_s и остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ необходимо опираться на данные по значению и распределению дислокаций в отожженном и деформированном пластически металле. Если отожженные металлы содержат от 10^6 до 10^8 дислокаций на 1 см^2 , то в деформированных металлах плотность дислокаций выше и вероятное число их достигает $10^{11} - 10^{12}$ на 1 см^2 . Их распределение зависит от вида, степени и температуры деформации.

Исследуя экспериментальную зависимость между запасенной энергией и деформационным упрочнением, в работе получена формула интенсивности остаточных напряжений, являющаяся модификацией формулы Ж. Фриделя:

$$\sigma_{i\text{ост}} = \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_s} \quad (5)$$

где μ – коэффициент Пуансона; E – модуль продольной упругости, МПа.

Анализируя зависимость (5), можно заключить, что зная характер распределения и величину скрытой энергии U_s деформирования по глубине поверхностного слоя и упругие константы E и μ , можно рассчитать интенсивность остаточных напряжений, связанных с главными остаточными напряжениями $\sigma_{1\text{ост}}$, $\sigma_{2\text{ост}}$, $\sigma_{3\text{ост}}$. Последние напряжения непосредственно влияют на усталость (выносливость) образцов путем изменения амплитуды цикла нагружения.

В главе дается научное обоснование трех аналитических методов расчета скрытой энергии деформации: 1) термодинамический; 2) дислокационный; 3) метод диаграмм деформирования.

1. Термодинамический метод определения скрытой энергии деформации $\Delta U = U_s$ основан на первом законе термодинамики (1) и позволяет осуществить анализ пластической деформации, сопутствующей любым видам механической обработки деталей машин.

2. Дислокационный метод определения скрытой энергии деформации основан на трехстадийном анализе деформации металла и охватывает кинетику и специфику пластической деформации (развитие, степень и размеры повреждаемости) в соответствии с современным взглядом на ее природу. Основным механизмом пластической деформации металлов реализуется через генерирование, движение, разрядку и аннигиляцию дислокаций.

Анализируя различные модели деформационного упрочнения (модели Тейлора, Бассинского, Мотта и Хирша), в работе получена зависимость для расчета удельной запасенной энергии:

$$U'_s = \frac{(1 - \mu \cdot \cos^2 \alpha)(\sigma_i - \sigma_{0,2})^2}{4\pi(1 - \mu)\beta^2 \cdot G} \cdot \ln \frac{\beta \cdot G}{\sigma_i - \sigma_{0,2}}, \text{ Дж / мм}^3, \quad (6)$$

где G – модуль сдвига, МПа; b – вектор Бюргерса, м; μ – коэффициент Пуассона; α – угол между вектором Бюргерса и осью дислокаций, град; β – численная константа, равная 0,3...0,6; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, МПа; σ_i – интенсивность нормальных напряжений, МПа.

3. Метод диаграммы деформирования для определения скрытой энергии деформации разработан с учетом обобщенной диаграммы деформирования стержневой модели (модели Мазинга) сплошной среды с бесконечным числом подэлементов. В соответствии с данной моделью структурные частицы, составляющие элемент объема, представлены в виде системы стержней, деформирующихся одинаково. Принимаем также, что стержни обладают свойствами идеального упруго-пластического материала и модули упругости стержней равными.

Получена формула для расчета скрытой энергии деформации на основе метода диаграммы деформирования:

$$U_s = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_i - \sigma_T}{E'} - \frac{\sigma_i - \sigma_T}{E} \right) (\sigma_i - \sigma_T) = \frac{(\sigma_i - \sigma_T)^2 (E - E')}{2EE'}, \quad (7)$$

где σ_T – физический предел текучести обрабатываемого материала;
 E' – модуль касательный (пластичности) или модуль деформации.

Таким образом, зная механические характеристики материала σ_T , E и E' , а также интенсивность напряжений σ_i , можно по зависимости (7) рассчитать удельную энергию деформации U_s .

Реализация СЭМ предусматривает выполнение следующих последовательных этапов, составляющих алгоритм расчета технологических остаточных напряжений:

1. Схематизация силового и температурного нагружения поверхностного слоя изделия при контактном взаимодействии с режущим или упрочняющим инструментом.
2. Расчет составляющих сил и действующих напряжений в зоне контакта инструмента с обрабатываемой деталью.
3. Энергетический и теплофизический анализы деформации: определение работы деформации A и выделившейся теплоты Q .
4. Расчет удельной скрытой энергии U'_s деформации по одному из трех предлагаемых методов: на базе термодинамического соотношения $U_s = A - Q$; использование схематизированных диаграмм деформирования $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$; на основе дислокационной теории пластической деформации металла и допущения равенства энергий $U_s = E_d$ (энергия дислокаций).
5. Определение интенсивности остаточных напряжений $\sigma_{i \text{ ост}}$ зависимости от уровня скрытой энергии деформации U_s .
6. Расчет главных остаточных напряжений $\sigma_{1 \text{ ост}}$, $\sigma_{2 \text{ ост}}$ и $\sigma_{3 \text{ ост}}$ в зависимости от вида напряженного состояния.

В третьей главе представлены результаты исследований механики контактного взаимодействия при динамическом поверхностно-пластическом деформировании дробью металлических поверхностей.

В работе задача контактного взаимодействия ударяющей частицы с материалами преграды решена квазистатически, т.е. считаем, что взаимные перемещения сферической твердой частицы и упругого полупространства, а также усилия на контакте связаны уравнениями статики. Данное

предположение следует из того, что скорость удара v_0 значительно меньше скорости распространения возмущений в виде упругих волн сжатия и сдвига в материале.



d, h – соответственно диаметр и глубина отпечатка; P – сила вдавливания

Рис. 3. Схема динамического вдавливания шара в упрочняемую поверхность и качественная эпюра остаточных деформаций осевого сжатия по толщине пластически деформированного слоя $h_{пл}$

Обрабатка поверхности детали ударами дроби характеризуется локальностью деформационного процесса. Если кинетическая энергия W_0 летящей дроби достаточна для формирования на поверхности контакта интенсивности напряжений σ_i , превышающей динамический предел текучести $\sigma_{т.д.}$, то на обрабатываемой поверхности создаются повреждения в виде пластического отпечатка в форме лунки.

Преобразуя формулу М.М. Саверина для расчета степени поверхностной деформации ψ с учетом связи между динамической H_d и статической твердостью HB по Бринеллю ($H_d=1,7 \cdot HB$), а также значения кинетической энергии дроби $W_0=mv^2/2$, получена зависимость, удобная для практического пользования:

$$\psi = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,18 \cdot W_0}{HB \cdot \pi D^3 g}}, \quad (8)$$

где m и D – соответственно масса, кг и диаметр дроби, м; v – скорость удара, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Результаты расчета степени поверхностной деформации ψ и зависимость ее от режимных параметров дробеударной обработки ($v=10 \dots 90$ м/с, $D=0,5 \dots 2,5$ мм, HB 100...400) даны на рис.4. С увеличением твердости обрабатываемого материала степень поверхностной деформации ψ монотонно уменьшается, причем для больших значений D и v абсолютное значение ψ также возрастает (соответственно на 0,057 и 0,094).

С увеличением скорости дроби от $v = 10$ до 70 м/с (рис.4, б.) из-за возрастания кинетической энергии заметно повышается степень поверхностной деформации ψ : в 2,63 и 2,75 раз соответственно для $D=1$ и 2 мм.

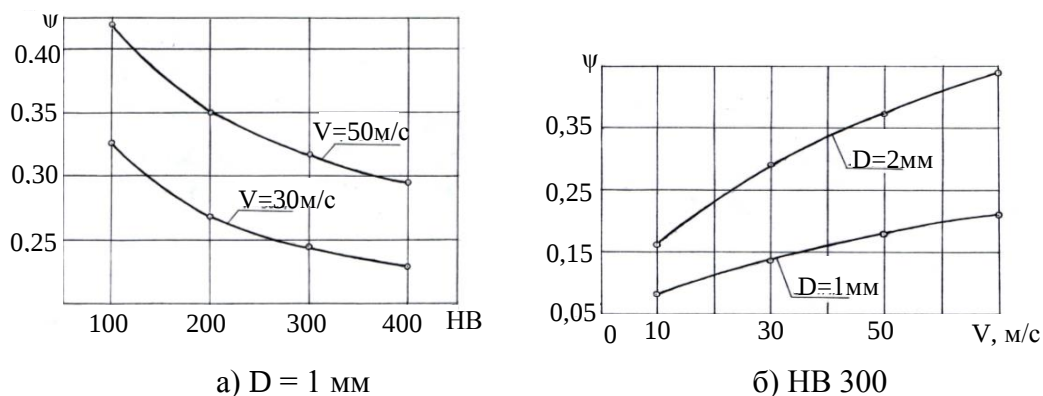


Рис. 4. Зависимость степени поверхностной деформации Ψ от твердости HB дробы при различных значениях скорости v (а) и при различных значениях диаметра D от скорости v (б)

Деформированное состояние при ППД оценивается не только коэффициентом ψ , но и толщиной пластически деформированного слоя (наклепа) $h_{пл}=h_n$, а также интенсивностью изменений деформации в наиболее характерной зоне вдавливания шара – осевой. Когда обрабатываемая поверхность детали полностью покрыта отпечатками, можно предположить, что сжатие всех слоев по толщине в среднем будет соответствовать деформации осевого сжатия под одним отпечатком, качественная эпюра которой показана на рис.3.

В результате многократного динамического воздействия при дробеударной обработке радиус пластического отпечатка будет увеличиваться до определенной величины, а затем практически остается постоянным. С учетом этого формула для радиуса пластического отпечатка принимает вид:

$$a = K \cdot D \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_m v^2}{10,2 \cdot HB \cdot g}}, \text{ мм}, \quad (9)$$

где $K=1,3 \dots 1,5$ – коэффициент увеличения диаметра отпечатка; ρ – плотность материала дробы.

Как следует из выражения (9), радиус отпечатка прямо пропорционален диаметру дробы при постоянном значении скорости v и твердости HB обрабатываемого материала. С увеличением твердости материала радиус отпечатка уменьшается (рис.5.), причем, во всем диапазоне изменения твердости радиус отпечатка a при $v = 50$ м/с больше, чем при $v = 30$ м/с, что объясняется большим значением кинетической энергии, ответственной за формирование размеров очага деформирования. С увеличением скорости от $v = 10$ до 70 м/с радиус отпечатки возрастает в 2,65 раз.

В работе впервые разработан аналитический метод определения коэффициента восстановления скорости k при ударе с целью установления расчетной зависимости, связывающей его с параметрами твердой частицы и физико-механическими характеристиками, имеющимися в справочной

литературе. Известные расчетно-экспериментальные методы определения коэффициента k отличаются большой трудоемкостью при практической реализации, т.к. необходимо провести серию опытов и тщательно измерить параметры ударных лунок.

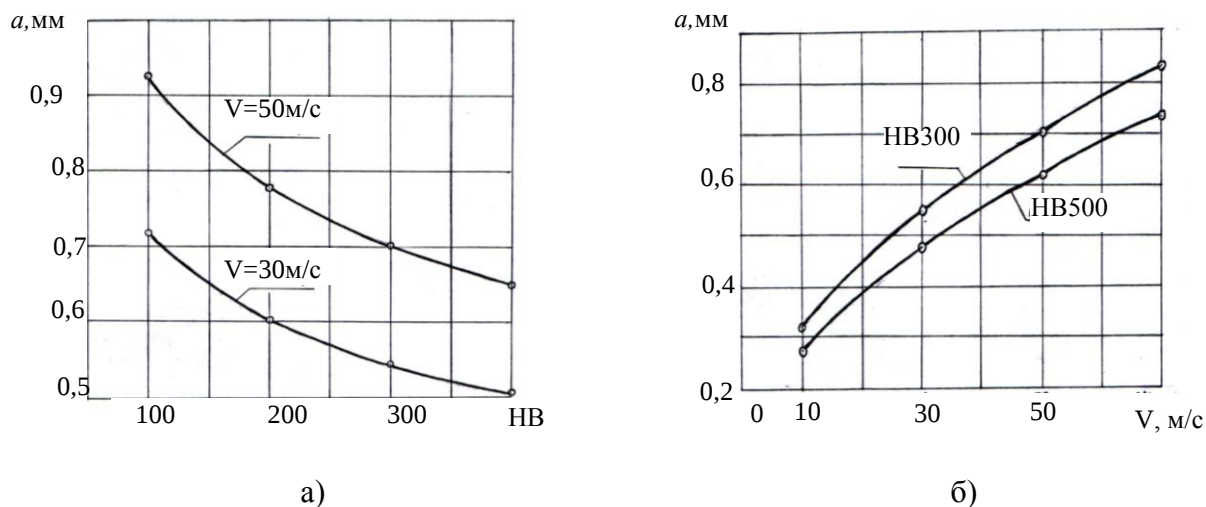


Рис. 5. Зависимость радиуса отпечатка a от твердости обрабатываемого материала HB (а) и от скорости v дроби (б) при режиме обработки: $v = 30$ м/с; $D = 1$ мм

При контакте частицы с металлической преградой происходит потеря ее первоначальной кинетической энергии $W_0 = mv_0^2/2$ (энергии перед ударом) из-за упруго-пластических деформаций металла. Поэтому скорость отскока v_1 частицы будет меньше, чем v_0 . Энергия отскочившейся частицы соответственно будет равна $W_1 = mv_1^2/2$. Следовательно, абсолютное уменьшение кинетической энергии ΔW ударяющейся частицы составит:

$$\Delta W = W_0 - W_1 = W_0(1 - k^2) = mv_0^2(1 - k^2)/2, \quad (10)$$

откуда получим выражение для коэффициента восстановления

$$k = \sqrt{1 - (\Delta W / W_0)} = \sqrt{1 - \beta} = \sqrt{W_1 / W_0}, \quad (11)$$

т.е. для его определения при прямом ударе необходимо знание работы упругого восстановления локальной зоны контактирования, которая практически равняется кинетической энергии твердой частицы после удара W_1 .

Применяя закон Мейера и геометрические соотношения при статическом внедрении твердой частицы в плоскость, упруго-пластическое контактирование сферического индентора представим зависимостью для вдавливающей силы P :

$$P = 8^{0.5n} \cdot N \cdot R_1^{0.5n} \cdot h^{0.5n}, \quad (12)$$

где N – постоянная, характеризующая материал, и зависящая от диаметра шарика; n – постоянная, характеризующая материал, и не зависящая от диаметра шарика, но изменяющаяся вместе с наклепом для одного и того же материала; обычно n равен от 2 (отожженные) до 2,5 (закаленные материалы); $R_1 = D/2$ – радиус шарика; h – глубина внедрения твердой частицы.

Если учесть, что постоянные n и N , характеризующие свойства материалов в уравнении Мейера принимают значения $n=2$ и $N=\pi H_u/4$, где

H_μ - динамическая твердость по Мейеру, то работа упругого восстановления W_1 определится из простого выражения:

$$W_1 = 1,77 (R_1^{0,75} \cdot H_\mu^{1,25} \cdot W_0^{0,75}) / E_{np} . \quad (13)$$

Таким образом, в соответствии с выражением (11) в окончательном виде получена формула для расчета коэффициента восстановления скорости при ударе:

$$k = 1,79 \sqrt{R_1^{0,75} \cdot HB^{1,25} / (W_0^{0,25} \cdot E_{np})} . \quad (14)$$

Анализ выражения (14) показывает, что при прямом ударе коэффициент восстановления скорости k зависит от кинетической энергии и размера частиц, твердости материала преграды, модуля упругости и коэффициента Пуассона соударяемых тел. Сравнение расчетных значений коэффициента восстановления k по формуле (14) с экспериментальными данными свидетельствует о высокой сходимости результатов: для стали 45 $k_{расч}=0,476$, $k_{эксп}=0,458$; для армко-железо $k_{расч}=0,317$, $k_{эксп}=0,316$; Условия опытов и необходимые параметры для расчета были следующими: диаметр стальных шариков $2R_1=10^{-3}$ м; масса $m=4,09 \cdot 10^{-6}$ кг; угол атаки $\alpha=90^\circ$; скорость шарика $V_0=22,7$ м/с; материал преграды – сталь 45 в нормализованном состоянии (197 HV или HB1030 МПа); упругие характеристики контактируемых материалов $E_1=E_0=2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu=\mu_0=0,3$.

Применение СЭМ для исследования качества поверхностного слоя детали при обработке дробью предусматривает обязательный анализ баланса энергии. Баланс энергии составлен на основе рассмотрения процесса соударения шара с плоской поверхностью тела в виде отдельных завершенных этапов его движения: упругое внедрение, пластическое внедрение, отскок от поверхности тела.

В главе выполнен теплофизический анализ процесса ударного ППД деталей. Получено уравнение связи тепловой, механической и внутренней энергии для процесса соударения шара и металлической поверхности:

$$W_0 (1 - k^2) - \Delta U = Q_u + Q_{ш} . \quad (15)$$

В силу предположения о недеформируемости твердой частицы (дробин) можно записать: $\Delta U = \Delta U_u + \Delta U_{ш} \approx \Delta U_u$. Учет изменения внутренней энергии ΔU обязателен в вопросах формирования качества поверхностного слоя. При решении же вопросов теплофизики, в частности, определение средней контактной температуры при ударе, величиной ΔU в практических расчетах пренебрегают. Получено уравнение для расчета температуры любой точки тела в зоне удара шаром:

$$\theta = \frac{(1 - b) W_0 (1 - k^2)}{\lambda_u \sqrt{\omega_u} (4 \pi t)^{3/2}} \exp \left[- \frac{R^2}{4 \omega_u t} \right] , \quad (16)$$

где $\theta(x, y, z, t)$ – температура точки тела, $^\circ\text{C}$; b – коэффициент, характеризующий долю интенсивности теплоты, распространяющейся в шар; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м $\cdot$ $^\circ\text{C}$); $\omega = \lambda / (c \rho_m)$ – коэффициент температуропроводности, м 2 /с; $c \rho_m$ – объемная теплоемкость, Дж/(м $^3 \cdot$ $^\circ\text{C}$); c – удельная

теплоемкость, Дж/(кг·°C); ρ_m – плотность материала, кг/м³;
 $R = \sqrt{(x_u - x)^2 + (y_u - y)^2 + (z_u - z)^2}$ – расстояние от источника теплоты до рассматриваемой точки с координатами x,y,z, м;

Для расчета времени t , соответствующего максимальной глубине проникновения шарика и равной времени соприкосновения его с поверхностью тела, необходимо рассмотреть уравнение движения тела в обрабатываемой среде:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = -2\pi R \sigma_T h, \quad (17)$$

где m и R – соответственно масса и радиус шарика; σ_T – предел текучести материала преграды; h – глубина внедрения шарика.

Решение дифференциального уравнения (17) представим в виде, в котором масса m шарика выражена через его объем и плотность ρ_m :

$$h = \nu D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} \cdot \sin \left(\frac{1}{D} \cdot \sqrt{\frac{6\sigma_T}{\rho_m}} \cdot t \right), \text{ мм}; \quad t = \frac{\pi}{2} D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}}, \text{ с}. \quad (18)$$

В четвертой главе представлены результаты теоретико-экспериментальных исследований качества поверхностного слоя зубьев пильных дисков и колосников при дробеударной обработке, а также результаты отдельных опытов при статическом ППД и обработке резанием как с целью сопоставления данных по параметрам качества обработанной поверхности, так и проверки разработанной СЭМ формирования технологических остаточных напряжений.

Экспериментальные исследования при дробеударной обработке зубьев пильного диска осуществляли на промышленной установке УДП-2-3.5 в условиях Ташкентского авиационного производственного объединения им. Чкалова. Данная установка (рис.6) предназначена для поверхностного упрочнения ответственных деталей машин и состоит из 12 серийно выпускаемых дробебетных аппаратов 42115, 42125.

Деформационное упрочнение (наклеп) определяли путем измерения микротвердости H_μ на образцах – наклонных микрошлифах, которые получали с помощью среза образца под углом $\alpha=5^\circ 04'$ к исследуемой поверхности. Испытания проводили на приборе ПМТ-3 четырехгранной алмазной пирамидой. Микротвердость H_μ определяли по результатам измерения диагоналей отпечатков, полученных при нагрузке 0,98 Н. Деформационное упрочнение оценивали глубиной наклепа h_n , степенью U и интенсивностью наклепа по глубине – градиентом наклепа $U_{гр}$.

Остаточные тангенциальные напряжения определяли на кольцевых образцах по методу акад. Н.Н. Давиденкова с использованием специальной аппаратуры для сравнения напряженного поверхностного слоя образцов, обеспечивающей непрерывное тензометрирование.

Исследование шероховатости обработанной поверхности проводили на профилометре-профилографе модели 201 завода “Калибр” с фиксацией

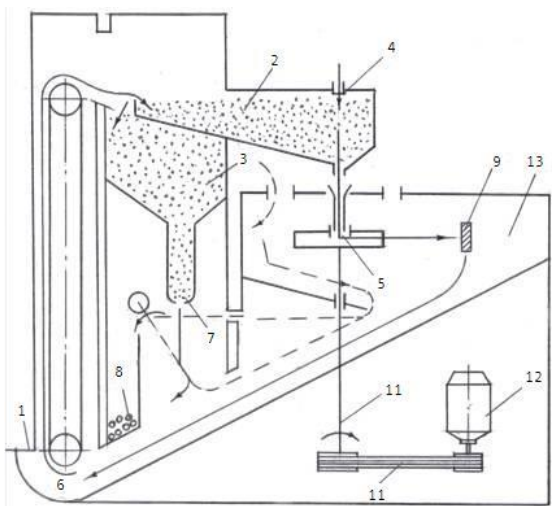
интегральных значений параметра R_a мкм – среднего арифметического отклонения профиля и записью профилограмм на электропроводной бумаге.

Получена формула для максимальной силы удара P , выраженной через начальную кинетическую энергию W_0 ударяющегося шарика:

$$P = \sqrt{2\pi W_0 D \sigma_T}, \text{ Н} \quad (19)$$

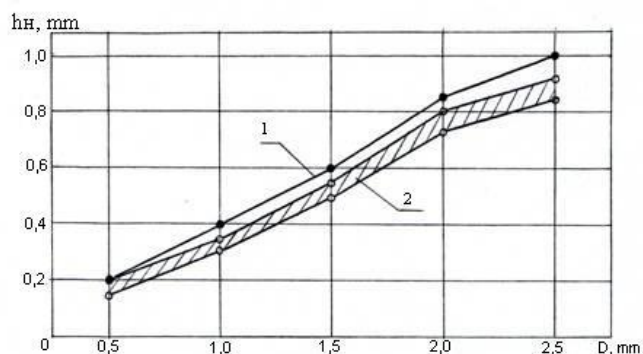
Используя соотношение (19) в качестве деформирующей силы известная формула С.Г. Хейфеца преобразуется к виду

$$h_H = \sqrt[4]{\pi W_0 \cdot D / (2 \sigma_T)}, \text{ мм} \quad (20)$$



1 – бункер элеватора; 2 – бункер питательного устройства; 3 – бункер сепаратора; 4, 7 – дроссели; 5 – ротор с дробеметным колесом; 6 – нижний сборщик элеватора; 8 – бункер; 9 – обрабатываемая деталь; 10 – вал; 11 – клиноременная передача; 12 – электродвигатель; 13 – рабочая камера; сплошные стрелки – дробь; штриховые – воздух

Рис.6. Принципиальная схема дробеметного аппарата промышленной установки УДП-2-3.5



1 – экспериментальные данные;
2 – расчетные данные.

Рис.7. Зависимость глубины деформационного упрочнения (наклепа) h_H от диаметра D стальных шариков при дробеструйной обработке титановых сплавов ($\sigma_T = 780 - 1075$ МПа)

Установлено, что глубина наклепа h_H , рассчитанная по формуле (20), с достаточной для практики точностью совпадает с опытными данными и расхождение составляет в пределах 8,5...14,3 % (рис.7).

Результаты экспериментального исследования микротвердости поверхностного слоя образцов из стали У8Г показали, что глубина и степень наклепа возрастают с увеличением времени обработки дробью от $t=1$ до 4 мин: степень U и глубина упрочнения соответственно возрастают на 9,8 % и 0,06 мм при исходной микротвердости поверхностного слоя $H_{\mu}=3560$ МПа.

Максимальная степень упрочнения $U=33,4$ % достигается при $t=4$ мин ($v=30$ м/с, $D=0,6$ мм). Этот режим обеспечивает предельную толщину упрочненного слоя $h_H=0,23$ мм. Обработка дробью в течение $t=6$ мин и более нецелесообразна, так как при этом микротвердость на поверхности образцов снижается и максимум твердости смещается в подповерхностный слой (рис.8.). С увеличением скорости полета дроби от 8 до 30 м/с при $t=4$ мин степень

наклепа увеличивается от 14 до 28 %. Дальнейшее увеличение скорости и времени обработки приводит к снижению деформационного упрочнения в связи с перенаклепом.

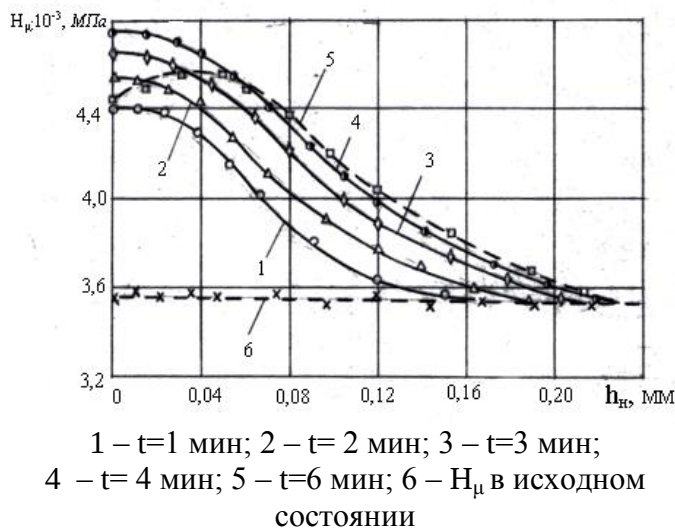


Рис.8. Распределение микротвердости H_μ по глубине поверхностного слоя h_n стали У8Г в зависимости от времени обработки дробью

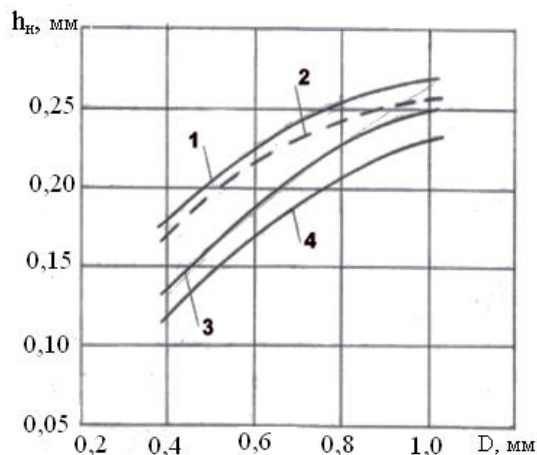


Рис.9. Зависимость глубины наклепа h_n от диаметра дробы D при дробеветной обработке

Увеличение диаметра дробы D и скорости ее полета v_0 при обработке зубьев джидных пил приводят к росту глубины наклепа h_n и интенсивности деформаций вследствие увеличения кинетической энергии дробы и интенсификации процесса пластической деформации поверхностного слоя упрочняемой детали (рис.9).

На основе энергетической теории разрушения поверхности твердых тел и гипотезы подобия процессов механического разрушения и плавления выполнен расчет оптимального числа ударов (5 или 6) стальных дроби диаметром 1 мм при дробеударном упрочнении чугуновых колосников.

Как показали исследования, при упрочнении дробью $D=0,4$ мм углеродистой инструментальной стали У8Г при $v=30$ м/с, $t=3 - 4$ мин происходит снижение параметров шероховатости: среднего арифметического отклонения профиля R_a с 2,4 до 1,8 мкм, высоты неровностей R_z с 5,5 до 4 мкм. Следует отметить, что дробеударная обработка полированных образцов при тех же режимах приводит к возрастанию шероховатости: R_a от 0,2...0,3 мкм до $R_a=0,8...1,2$ мкм. Шероховатость тем выше, тем больше скорость полета дроби. Таким образом, спецификой упрочняющей обработки деталей машин ударами дроби является то, что в зависимости от исходного геометрического состояния упрочняемой поверхности, диаметра, скорости полета дроби шероховатость поверхности может возрастать или уменьшаться.

В данной главе, анализируя кинетику упруго-пластического деформирования поверхностного слоя металла в процессе внедрения в него сферического индентора, раскрыта закономерность формирования шероховатости и аналитически определен ее высотный параметр R_z .

Теоретическое определение высоты неровности R_z осуществляли в соответствии с разработанной методикой по формуле:

$$R_z = v_0 D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} - \frac{3k^2 W_0}{2\pi D^2 \left(0.5 - v_0 \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}}\right)^2 \sigma_T} \quad (21)$$

Расчетные значения параметра R_z отличаются от экспериментальных в пределах 5,8...10,5%, что подтверждает приемлемость для использования на практике данную методику расчета.

Основываясь на структурно-энергетической модели формирования качества поверхностного слоя, разработан алгоритм расчета технологических остаточных напряжений, формируемых при дробеударном упрочнении деталей машин: 1. Расчет радиуса пластического отпечатка. 2. Определение статической силы P , соответствующей радиусу пластического отпечатка. 3. Расчет нормального давления p_0 и интенсивности напряжений σ_i по формуле. 4. Определение коэффициента восстановления скорости. 5. Расчет энергии удара твердой сферической частицы с учетом коэффициента восстановления скорости. 6. Определение скрытой энергии деформации U_s , равной изменению внутренней энергии ΔU поверхностного слоя. 7. Определение интенсивности остаточных напряжений.

Для расчета интенсивности остаточных напряжений режим дробеударного упрочнения выбран с учетом результатов ранее проведенных экспериментальных исследований, представленных в виде номограммы, и удобной для практического использования. Так, режим и условия дробеударной обработки соответствовали: твердость обрабатываемого материала HV80...560; диаметр дроби $D = 0,5...3$ мм; расход дроби $q = (0,75...12) \cdot 10^{-3}$ кг/(см²·с); скорость дроби $v = 30...80$ м/с.

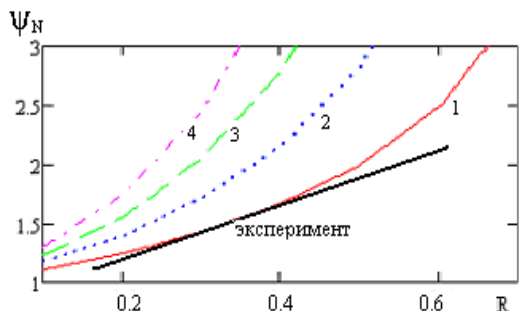
Интенсивность остаточных напряжений на глубине поверхностного слоя z , рассчитанная по данному алгоритму, соответствует значениям:

$$\sigma_{i \text{ ост}} = 1094 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,05 \text{ мм}; \quad \sigma_{i \text{ ост}} = 1082 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,1 \text{ мм}; \\ \sigma_{i \text{ ост}} = 933 \text{ Н/мм}^2, \quad z = 0,2 \text{ мм}.$$

Теоретические значения интенсивности остаточных напряжений отличаются от экспериментальных не более, чем на 2...10%, что позволяет уверенно их использовать в прогнозной оценке долговечности и усталостной прочности пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин с учетом эксплуатационных нагрузок.

Пятая глава диссертационной работы посвящена разработке метода прогнозирования усталостной прочности и долговечности деталей машин первичной обработки хлопка с учетом технологических остаточных напряжений в поверхностном слое изделий. Приведены результаты производственных испытаний и экономическая оценка эффективности внедрения упрочняющей обработки пильных дисков.

Разработан алгоритм расчета на многоцикловую усталость с учетом технологических остаточных напряжений на основе анализа известных зависимостей между параметрами цикла напряжений (σ_a , σ_m), предела



1 – m=2; 2 – m=3; 3 – m=4; 4 – m=5

Рис.10. Зависимость относительной долговечности ψ_N от коэффициента остаточных напряжений R при различных значениях m для модели Биргера

выносливости σ_{-1} и предела прочности σ_B (линия Гудмана, параболы Биргера, Герберга, Мэрина). Например, для параболы Биргера

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} \right)^2 + \frac{\sigma_m}{\sigma_a} = 1. \quad (22)$$

Амплитудное значение напряжения цикла σ_a при симметричном цикле напряжений $\sigma_m = 0$ соответствует выражению

$$\sigma_a = \sigma_{-1} \sqrt{1 - \frac{\sigma_{iост}}{\sigma_s}}. \quad (23)$$

В процессах отделочно-упрочняющей обработки и резания в поверхностном слое деталей возникает объемное остаточное поле

напряжений, но ввиду их небольшой глубины залегания принято рассматривать плоское остаточное напряженное состояние, создаваемое тангенциальными и осевыми напряжениями. Как следуют из теории упругости, напряженное состояние характеризуется интенсивностью напряжений σ_i , а для остаточного напряженного состояния – соответственно $\sigma_{iост}$.

Получено выражение, связывающее число циклов до разрушения N_p с интенсивностью остаточных напряжений $\sigma_{iост}$, которое для симметричного цикла принимает упрощенный вид

$$N_p = N_0 \left(1 - \frac{\sigma_{iост}}{\sigma_s} \right)^{-\frac{m}{2}}, \quad (24)$$

где N_0 – число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости; σ_a – амплитуда напряжения цикла (предел выносливости с учетом остаточных напряжений); $m=C/K_\sigma$ – коэффициент, характеризующий наклон левого участка кривой усталости (для углеродистых сталей $C=12...20$, легированных $C=20...35$); $K_\sigma=\sigma_{-1}/\sigma_{-1д}=4...6$ – коэффициент, учитывающей влияние всех факторов на сопротивление усталости; $\sigma_{-1д}$ – предел выносливости деталей. С учетом приведенных данных для изделий из углеродистых сталей (пильные диски) $m=C/K_\sigma=2...5$, из легированных сталей $m=3,33...8,75$.

Выражения вида (24), полученные для различных зависимостей (моделей) дают количественную и качественную оценку взаимосвязи введенных коэффициентов остаточных напряжений $R=\sigma_{iост}/\sigma_B$ и относительной долговечности $\varphi_N=N_p/N_0$.

В главе приведены результаты производственных испытаний джинных пил с упрочненными зубьями, проведенных в джинно-линтерном цехе

Букинского хлопкоочистительного завода Ташкентской области. Производственные испытания показали, что джинные пилы, упрочненные на промышленной установке УДП-2-3.5, (режим обработки: скорость дробы $v = 30$ м/с; диаметр дробы $D = 0,6$ мм; время обработки $t = 4$ мин; расход дробы $q = 250$ кг/мин) показали увеличение их долговечности минимум в 1,7...2,0 раза и более по сравнению с заводскими пилами при переработке хлопка-сырца ручного сбора сорта 5/3 селекции С-6524 влажности 13,1 %. Уровень сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое зубьев пил, имеющих предел прочности $\sigma_b = 1000$ МПа, составил при этом $\sigma_{i \text{ ост}} = 200 \dots 600$ МПа. Как следует из рис.10., результаты экспериментальных исследований долговечности упрочненных джинных пил в условиях хлопкоочистительного завода хорошо согласуются с зависимостью Биргера (24) для $m = 2$. Получена линейная зависимость относительной долговечности ψ_N :

$$\psi_N = 2,75 R + 0,558, \quad (25)$$

позволяющая прогнозировать долговечность упрочненных пильных дисков в зависимости от уровня сжимающих остаточных напряжений и предела прочности материала.

Сравнительный анализ состояния пильных дисков показал, что упрочненные зубья (рис.11, а) практически сохранили свою форму и геометрические параметры, а также достаточную остроту вершины зуба даже при времени эксплуатации $T = 672$ часа. Неупрочненные зубья джинных пил, проработавших $T = 168$ часов (рис.11, б, в) подверглись катастрофическому износу по задней поверхности до значений $\Delta l = 1,3 \dots 1,5$ мм в виде прямолинейной площадки. Одновременно со значительным износом происходит уменьшение высоты зуба h и сокращение технологического пространства между соседними зубьями, что в совокупности с потерянной остротой вершины зуба уменьшает производительность джинирования.

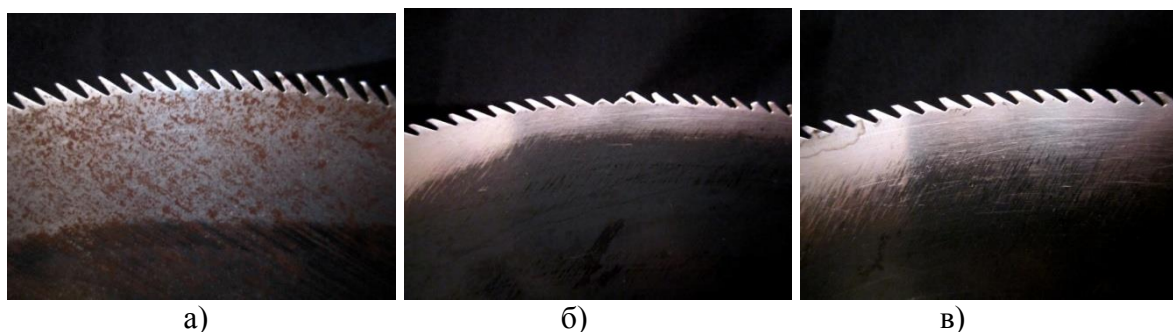


Рис. 11. Джинная пила с упрочненными зубьями (а) и неупрочненными зубьями (б – с сломанными и пластически деформированными зубьями, в – с изношенными зубьями).

Необходимо отметить, что пильные диски, зубья которых подвергнуты дробеметной обработке, сохраняют качественные показатели волокна и семян.

Таблица.

Качественные показатели волокна и семян

№ п/п	Технологические показатели, %	Джинирование с упрочненными зубьями пил	Джинирование с заводскими пыльными дисками
1	Влажность хлопка	13,1	13,1
2	Влажность волокна	6,46	6,46
3	Выход волокна	26,38	26,12
4	Опущенность семян	12,45	12,7
5	Поврежденность семян	7,33	7,73

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения дробеударного упрочнения зубьев пыльных дисков на двух хлопкоочистительных заводах Ташкентского и Андижанского областей составил 80992 тыс. сумов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана структурно-энергетическая модель формирования и алгоритм расчета технологических остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ в поверхностном слое деталей рабочих органов машин после механической обработки.

2. Установлена взаимосвязь технологических остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ с уровнем запасенной (скрытой) энергии U_s деформаций, которую можно определить по одному из трех разработанных методов: на базе первого закона термодинамики; на основе дислокационных представлений и соответствующих энергетических соотношений (теории дислокаций); с помощью схематизированных диаграмм деформирования $\sigma_i=f(\epsilon_i)$ конструкционных материалов.

3. Аналитически определен важнейший параметр контактного взаимодействия при ударе твердых тел – коэффициент восстановления скорости k при ударе на базе схематизации контакта дробы с обрабатываемым материалом: одноактное соударение жесткой сферической твердой частицы со средней скоростью потока v_0 под прямым углом $\alpha=90^\circ$ с упругим полупространством (деформируемым телом, считая его однородным и изотропным).

4. На базе структурно-энергетической модели получены соотношения, позволяющие определить удельную запасенную энергию U_s , равную изменению внутренней энергии ΔU поверхностного слоя, и определяемую по одному из трех разработанных методов: термодинамический, дислокационный и метод диаграммы деформирования обрабатываемого материала.

5. В работе получены основные соотношения для скрытой энергии деформации U_s на базе термодинамического анализа энергетического баланса при деформировании срезаемого слоя лезвийным инструментом и статическими методами ППД (обкатка шарикам и алмазное выглаживание).

Разработаны методы расчета скрытой энергии деформирования при резании материалов с различными физико-механическими свойствами и на основе схематизированных диаграмм деформирования конструкционных материалов.

6. Разработан алгоритм расчета технологических остаточных напряжений по структурно-энергетической модели при дробеметном упрочнении деталей машин. Теоретические значения остаточных напряжений, рассчитанных по СЭМ на базе первого закона термодинамики ($\sigma_{i \text{ ост}}=1095 \text{ Н/мм}^2$) и теории дислокаций ($\sigma_{i \text{ ост}}=1061 \text{ Н/мм}^2$) находятся в хорошей сопоставимости с данными экспериментальных исследований ($\sigma_{i \text{ ост}}=1080 \text{ Н/мм}^2$), т.к. отличие приведенных данных составляет соответственно 1,4 и -1,7 %, то это является надежным обоснованием для использования теоретических значений остаточных напряжений в прогнозной оценке долговечности и усталостной прочности деталей машин.

7. Впервые обосновано, что для остаточного поля напряжений выполняется первый инвариант тензора напряжений, являющийся линейным, т.е. располагая значениями осевых $\sigma_{x \text{ ост}}$ и тангенциальных $\sigma_{y \text{ ост}}$ остаточных напряжений и их интенсивностью $\sigma_{i \text{ ост}}$, можно рассчитать главные остаточные напряжения $\sigma_{1 \text{ ост}}$ и $\sigma_{2 \text{ ост}}$. Эти напряжения используются при расчете на прочность в условиях статического и циклического нагружения.

8. Выполнена оценка влияния технологических остаточных напряжений на прочность (несущую способность) конструкций при многоцикловом нагружении и разработан алгоритм расчета на многоцикловую усталость и ресурс работы пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин. Расчет усталостной прочности произведен с помощью теоретического решения задачи формирования технологических остаточных напряжений при плоском напряженном состоянии.

9. Из уравнения движения абсолютно жесткой сферы (шарика) в обрабатываемой среде (полубесконечное твердое тело) при допущении о постоянстве среднего давления сопротивления внедрению или среднего давления течения (предела текучести σ_T) получена формула для теоретического определения глубины наклепа h_n . Достоверность расчетных значений h_n подтверждена также экспериментальными данными других исследователей. Получены основные закономерности влияния параметров дробеметной обработки зубьев пильных дисков на глубину и степень деформационного упрочнения. Определены оптимальные режимы обработки: скорость дробы $v=30 \text{ м/с}$; диаметр дробы $d=0,6 \text{ мм}$; время обработки $t=4 \text{ мин}$. Этот режим обеспечивает глубину наклепа h_n до 0,23 мм с максимальной поверхностной микротвердостью $H_n=4560 \text{ МПа}$ и степенью наклепа $U=33,4 \%$.

10. Получено удовлетворительное для практического использования совпадение (8...12%) экспериментальных в условиях производства и теоретических значений долговечности пильных дисков с упрочненными зубьями. Производственные испытания подтвердили высокую эффективность длинных пил с упрочненными дробеударной обработкой зубьями. Испытания

проведены при переработке хлопка-сырца ручного сбора сорта 5/3 селекции С-6524 влажности 13,1%. Увеличение долговечности (до двух и более раз) пильных дисков связано с повышенной поверхностной микротвердостью и сохранением вязкой сердцевины зубьев. Как свидетельствуют эксперименты, дробеударная обработка практически исключает операцию обработки пильного цилиндра в песочной ванне, т.к. под действием потока дробы сглаживаются заусенцы и образуются переходные поверхности с радиусом 0,2...0,3 мм между гранями зубьев.

Установлено, что джинирование хлопка-сырца пильными дисками с упрочненными зубьями хорошо сохраняет качество волокна и хлопковых семян. Экономический эффект от внедрения в производство джинных пил на двух хлопкоочистительных заводах Ташкентского и Андижанского областей составил 80 992.3 тыс. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL on AWARDING of SCIENTIFIC DEGREE of
DOCTOR of SCIENCES 16.07.2013.T.06.01 at TASHKENT INSTITUTE OF
TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY**

**MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY SPECIAL EDUCATION OF
THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

TASHKENT INSTITUTE OF TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY

SHIN ILLARION

**TECHNOLOGICAL METHODS OF MAINTENANCE THE QUALITY
AND FORECASTING DURABILITY OF DETAILS IN
MACHINES OF PRIMARY COTTON-GINNING**

**05.02.03 - Technological machines. Robots, mechatronics and robot systems
(technical sciences)**

ABSTRACT

OF DOCTOR DISSERTATION

Tashkent – 2014

The theme of doctor dissertation is registered at Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number 30.09.2014/B2014.5.T320.

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

The full text of doctor dissertation is placed on web-page of Scientific council 16.07.2013.T.06.01 at the TITLI to the address www.titli.uz.

Abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English) is placed on web- page to address www.titli.uz and Information-educational portal "ZiyoNet" to the address www.ziynet.uz.

**Scientific
consultant:**

Djuraev Anvar,
doctor of technical sciences, professor

**Official
opponents:**

Makhkamov Rufat,
academician, doctor of technical sciences, professor

Akhmedhodjayev Khamid,
doctor of technical sciences, professor

Rakhmonov Khayridin,
doctor of technical sciences

**Leading
organization**

Fergana Politechnical Institute

Defense of dissertation will take place in "25" december 2014 at 14⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council 16.07.2013.T.06.01 at Tashkent institute of textile and light industry (Address: 100100, Tashkent, str. Shohjahon-5, tel. (99871)-253-06-06, 253-08-08, fax: 253-36-17; e-mail: titlp_info@edu.uz).

Doctor dissertation might be reviewed at the Information-resource center of Tashkent institute of textile and light industry (registration number 03). Address: 100100, Tashkent, str. Shohjahon -5, tel. (998 71)- 253-06-06, 253-08-08.

Abstract of dissertation is sent out on "22" of november 2014 year
(mailing report № 03, on "22" of november 2014 year)

Q.Jumaniyazov,
chairman of scientific council on award of scientific
degree of doctor of sciences, doctor of technical sciences, professor

A.Mamatov,
scientific secretary of scientific council, on award of scientific
degree of doctor of sciences, doctor of technical sciences, professor

A.Djuraev,
chairman of scientific seminar under scientific
council on award of scientific degree of doctor of
sciences, doctor of technical sciences, professor

ANNOTATION OF DOCTOR DISSERTATION

Actuality and demand of the subject of dissertation. The modern mechanical engineering plays the leading part in scientific and technical progress and is base for successful development of all industries and agriculture. In our republic the President of the Republic Uzbekistan Islam Karimov noted that still in machine building by the most important direction in branch specialization must be the development of agricultural machine building, based on producing of the machines and mechanism for cotton complex of the republic: «... Cotton for Uzbekistan is political and economic power, guaranteeing independence of the republic».

The primary goal of cotton-cleaning industries is maintenance of competitiveness of producing at global level in modern conditions of market economy industry by resolution of the Cabinet of Ministers of third of april 2007 year №70 «On the program of modernization and reconstruction of ginneries in the period 2007-2011». The major component in the decision of the given problem belongs to the process equipment - to machines of primary cotton-ginning (cleaners of large rubbish, gins, linters, fibre cleaners) which working capacity is substantially defined by durability of the mass itself and main details of their working body - saw disk, and also grid-irons.

Therefore loss by a detail of the service purpose and its destruction in most cases begins in a superficial layer, for example, occurrence and development of fatigue cracks, deterioration, corrosion, etc.

The teeth of sawing disks while in service test variable pressure at significant number of cycles stressing, for example, at frequency of rotation of sawing cylinder $n=730$ already in current of 48 hours the quantity of cycles makes rev/min more than $2,1 \cdot 10^6$. Such conditions of stressing the teeth at contact to a variable on weight and density of raw platen promotes development of fatigue cracks in them, the plastic shift and contortion, and presence in a cotton-raw of firm inclusions (a granite, corundum, limestone) causes abrasive deterioration. The grid-irons making the same lattice in gins and linters should have high wear resistance too.

According to the technical rules time of operation and the subsequent full replacement saw disks on the worker to a shaft makes depending on a grade of a processed cotton-raw of 72 – 96 hours for ginning saws, 48 hours - for linter saws. In view of that restoration saw disks is carried out crossing (ginning saws - 2, linting saws - 5 times) them for the new size, and also their quantity, for example, in gins from 90 up to 130 depending on updating, the total requirement of saw disks for 98 cotton-cleaning factories of republic is estimated more than 1 mln. for one cotton-harvest season. Position is complicated that expensive carbonaceous tool steel U8G is completely delivered from Russian Federation. Reduction of importing this material due to sharp increasing durability of saw disks, certainly, will increase economic efficiency of cotton-conversion because of decreasing cost price of producing - the cotton fibre.

¹ I. Karimov. Uzbekistan on a way of a deepening of economic reforms. -T.: Uzbekistan, 1995, 246. p.

Even though the gained up great experience in development of new ways of increasing reliability of details has appeared not to be demanded in a whole on referencing to sawing disks and for responsible details of cotton-ginning machines the research were extremely insufficient. Such circumstances make necessary and very important choice from the big arsenal of modern means of hardening the optimum kind for the given concrete case. Well known methods of hardening the teeth of saw disks (electrocontact heating and laser processing) do not solve one a problem of increasing of their durability as as the result of powerful thermal influence on top of a tooth occurred a volumetric training and the effect of thermalhardening are shown. Volumetric training does not save a core of details viscous and it is undesirable at repeatedly-variable loadings at a bend because of decreasing the working capacity and resistibility to fatigue failure in operational conditions.

The most progressive and effective method of hardening is superficial plastic deformation (SPD), in particular, shot processing concerning dynamic methods SPD details of machines. Technological opportunities of shot hardenings extends first of all for hard thin details, differing sharp edges. To these constructive seatures completely correspond teeth of saw disks that has formed the basis for new scientific and technical decision with the purpose of increasing of working capacity of cotton-ginning machines.

The given decision of the specified problems provides development of new scientific approaches in the theory and practice of technological maintenance of quality and opportunity forecasting of durability of details on condition of their superficial layer after strengthening mechanical processing.

Conformity of research on priority directions of development of science and technologies in the Republic of Uzbekistan. The dissertation is carried out according to priority directions of development of science and technologies of the Republic of Uzbekistan and state scientific-technical programm of innovation researches: IP-5 «the Agriculture, biotechnology, ecology and preservation of the environment».

International review of scientific researches on the theme of dissertation. In modern global practice of the machine-building manufacture, in particular in leading industrially developed countries (USA, France, Japan, Germany, England, Russian Federation, Hungary etc.) there is positive experience on using as finishing mechanical operation at manufacturing responsible details of machines the various methods of strengthen processes. Questions of optimization and methods of mechanical processing of machines on maintenance the parameters of quality of superficial layer in details of machines and mechanisms with the purpose of increasing wear resistance, contact durability and rigidity, fatigue durability and other criteria of working capacity of technological machines which are reflected in work of such foreign scientists and experts as E. Tomsen, C. Jang, S.Kobajashi, E.M. Trent, H. Opitts, Dj.I. Armarego, R.H. Brown, S.V. Serensen, A.I. Promptov etc.

Basic researches of the physical nature of formation the condition of the superficial layer characterized by a complex of physicomachanical and geometrical parameters, and connected with a microscopic picture of deformation through dislocation model of plastic deformation, are realized in proceedings of outstanding foreign scientists Z. Fridel (France), U. Lju and M. Beresh (USA), J. Martin and R. Doerti (England), G. Polcer and V. Eveling (Germany), L. Kator and P. Nyulis (Hungary), T. Ekobori (Japan). In researches of these scientists by means of dislocation models of plastic deformation have been revealed the laws of deformation at a microscopic level under action of a temperature-power field.

The significant contribution of development on theory-experimental bases of application the dynamic methods of superficial plastic deformation in details of machines were made in works of some foreign scientists, for example, I. Anderson, D. Martin, O. Horger, Van House, I. Olmen, R. Metson's jobs, V. Koulmen, G. Fuks etc.

Numerous works of foreign researchers concerned of formation the parameters of quality of superficial layer of details at final processing and their influence on operational parameters of machines allow at the present stage of development of science and technics present enough and prove modern approaches and ways of maintenance of high adaptability of manufacture and operational reliability of machines due to increasing durability of details of their working bodies.

Degree of study of problem. Studying of questions connected with improvement of quality of a superficial layer the details of machines is one of actual problems in modern technology of mechanical engineering. Now it is established, that set of parameters (microgeometrical and physicomachanical characteristics) qualities of the processed surface renders essential influence on operational properties of products of machine-building manufacture. Scientific schools under supervising of scientists of M.M. Saverin, A.A. Matalin, B.A. Kravchenko, D.D. Papshev etc. have created theoretical bases of formation of the residual is intense-deformed condition of superficial layer of details at superficial-plastic deformation in fraction and have developed practical recommendations for their introduction in manufacture of various branches of mechanical engineering (aircraft construction, oil and chemical, agricultural, etc.). The specificity of cotton region and meeting process industry put the problem of permanent increasing of efficiency in processing of cotton-raw which can be solved successfully by new scientific and technical offers in the form of the strengthening technologies, directed on increasing durability and quality of details of working bodies of technological machines.

Scientific researches on strengthening technology of crucial and mass details of cotton-ginning machines (cleaners, gins, linters, fibre-cleaners), presented by R.G. Mahkamov, E.M. Abdul-Razzakov, M.G. Hamov, A.P. Rogov, A.M. Ahmedov's works, are extremely insufficient. In these works increasing mechanical properties of teeth in saw disks and sawing segments of machines of primary cotton processing was reached by electrocontact heating, laser hardening and the gas-flame training, sold in the form of thermalhardening when high hardness

volume of top of the tooth reduces simultaneous resistibility to its bend because of loss of viscosity of construction material, that initiates frequent breakages in the form of fragile destruction. Under these circumstances has ripened the necessity of carrying out of scientific researches on research new technological decisions directed on maintenance of high quality of the superficial layer of details has ripened. In particular, development and substantiation of dynamic superficial hardening in fraction when the power factor of contact interaction of indenter with processable material solves in formation of the surface condition.

Methods of forecasting of durability and fatigue durability of details of machines on the residual intense condition are developed in insufficient degree. The decision of this problem will allow to carry out active regulation by quality of the processed surface of details through conditions and regime parameters of processing, geometry of the tool that creates a basis forecasting estimations of the durability considered at design stage of technological processes of manufacturing details of machines.

Connection of dissertational research with the plans of scientific- research works. Work is performed under the state scientific and technical projects on the themes: IOT-2013-5-28 «Increasing of working capacity and forecasting of durability of crucial details of machines primary cotton processing on qualimetry their superficial layer after dynamic hardening in fraction»; «Working out and research of effective and technological designs of mechanisms and details of machines in textile and light industry», executed by department «Theoretical and applied mechanics» in 2006-2010 according to scientific plans of TITLI.

Purpose of the research is to work out of technological methods of increasing the working capacity of cotton-ginning machines by maintenance of demanded quality of superficial layer of details of working bodies and forecasting of their durability in operational conditions.

Tasks of the research: to develop the method of dynamic deformation hardening in fraction of less hardened details – saw disks of cotton machines and to define optimum parameters shot hardenings providing high quality of superficial layer;

to prove and to develop the method of deformation hardening of pig-iron grid-irons shot processing of their working surfaces;

to develop structure energetics model of interaction contact of firm bodies in processes of mechanical finishing process and superficial plastic deformation of responsible details of machines;

to develop universal method of calculation of the major parameter of quality of superficial layer - technological residual pressure depended on regime parameters of processing and physicomachanical properties of material construction;

to develop methods of calculation and forecasting of details durability of machines of primary cotton processing in operational conditions;

to make trial check and inculcating of new technological methods of hardening details of cotton machines with the purpose of increasing of their working capacity and reliability.

Object of research is details of working bodies the machines of primary cotton processing.

Subject of the research – quality of superficial layer of responsible details (sawing disk, grid-iron, shaft of sawing cylinder) cotton-ginning machines, generated as a result of superficial plastic deformation.

Methods of the research. Realization the purpose of work and the decision of tasks were carried out by theoretical and experimental researches. For developing structure-energetic model of formation technological residual pressure were used fundamental positions and laws of thermodynamics of irreversible processes, theories of dislocation of a firm organ have been used, the thermophysics of technological processes, the theory of elasticity and plasticity, the hypothesis of durability and destruction firm bodies. On carrying out theoretical researches are widely used laws of applied mechanics, mathematical physics and elements of higher mathematics.

Experimental researches of shot spent processings on plant UDP-2-3.5 consisted of 12 shot of devices were carried out. Researches of parameters of quality of superficial layer of details were done. Researches of quality parameters were made by tool methods on measuring devices (microhardness tester PMT-3, profilograph-profilometre by "Calibre"). Experimental researches of quality of fibre and cotton seeds after ginning carried out in laboratory and industrial conditions of cotton cleaning plant. Methods of strain measurement, methods of statistical processing of experimental data with using of computer technology with probable reliability of results 0,95 are used.

Scientific novelty of the research is consisted of the following:

it is worked out the structure-energetic model of formation and algorithm of calculation of technological residual pressure at superficial deformation hardening details of machines of primary cotton processing based on the modern concept, of physics, plastic deformation of metal;

it is developed the method of superficial dynamic hardening in teeth's fraction of saws in cotton-ginning machines (patent useful for model "Shot installation method of superficial dynamic hardening in fraction for hardening details" FAP 00513, 31/12/2009);

it is established optimum technological parameters of shot processings in sawing disks on the base of experimental researches;

it is solved analytically the problem by definition the factor of restoration of speed k at impact, contact interaction of firm bodies used for thermodynamic analysis in processes of dynamic hardening;

it is offered the method of estimational of depth of deformation hardening at shot processing disks of the gins, based on the differential equation movement of firm spherical particle in its elastic - the plastic environment;

it is developed the mechanism of formation of high-altitude parameter of a roughness of the strengthened surface at shock deformation processing in fraction of saws;

it is developed the methods of calculation on multicyclic weariness and forecasting of durability disks in the operational conditions, problems based on the analytical decision by definition of intensity of residual pressure.

Practical results of the research consist of the following:

it is developed the new technological method of hardening of their working surfaces by processing in fraction, with reference to details of machines of primary cotton processing; the substantiation of optimum parameters of the mode shot hardenings (diameter split up, speed, time of processing, the charge split up) is executed;

it is developed the algorithm of calculation of the major parameter of quality of the superficial layer of details - technological residual pressure on a level of the reserved energy of deformation;

it is developed the method of forecasting of durability and fatigue durability of sawing disks of gins on value of intensity of residual pressure after hardening in fraction;

as a result it is established of trial check efficiency shot hardenings the teeth of sawing disks and increase in their durability for some times in comparison with not strengthened teeth.

Reliability of obtained results is proved by correctness of mathematical and physical models at schematization of contact interaction of fraction with the strengthened surface in the form of elastic halfendless bodies, and also the high degree of concurrence in comparison of results theoretical and experimental researches, including the results of the other authors.

Theoretical and practical importance of results of the research. The theoretical importance of results of the work consists: in developing of structural-energetic model of formation of the main parameter of quality of the superficial layer of a product - technological residual pressure; analytical dependences for the latent energy of the deformation responsible for the level of intensity of residual pressure; dependences for depth of deformation hardening, the roughness of the surface, contact temperature, factor of restoration the speed received by mathematical modelling at one-act impact of firm spherical particle with metal barrier.

The practical importance of carried out research consists of the proof of high efficiency of dynamic method of hardening in fraction of responsible details (sawing disks, grid-irons) gins due to formation in their superficial layer of compressing residual pressure, a degree of deformation hardening (peening) up to 33,4 %, depth of peening 0,2 ... 0,23 mm, that on bilateral processing lateral surfaces of teeth saves the core of the detail in the viscous condition, for long time capable to resist repeated-variables of pressure on interaction with raw platen in the process of ginning.

Inculcation the results of the research. On the basis of the received scientific results the method is offered for the first time and it is developed the technology of

dynamic strengthening by process in fraction of sawing teeth disks and grid-irons of gins.

Sawing disks with strengthened shot processing of teeth and fire-bars are inculcated in gins DPZ-180 and realized at the enterprises of the association "O'zpaxtasanoat", annual economic impact of 80,992 million sum (the act of association "O'zpaxtasanoat" the introduction into production of 4.09.2014).

Approbation of work. Results of research are reported in more than 20 scientific and technical conferences, including 8 international conferences «Progressive technological processes in mechanical engineering» (Tolyatti, 2002); «Resource-and energysaving technologies of industrial production» (Vitebsk, 2003); «Actual problems of mechanics and mechanical engineering» (Alma-Ata, 2005); «Engineering of the surface and renovation of products» (Yalta, 2010 – 2013); «New and nonconventional technologies in resource-and energysaving» (Odessa, 2010 – 2013); «Quality, standardization, control: the theory and practice» (Yalta, 2010 – 2013); «Modern problems of manufacture and repair in the industry and on transport» (Svalyava, 2010 – 2013); «Days of science» (Prague, 2012).

Publication of results. On the theme of the dissertation were published 56 scientific works, including 9 scientific articles in the international magazines, 2 patents are published.

Structure and volume of dissertation. The dissertation consists of the introduction, five chapters, the conclusion, the list of the literature, 8 applications and contains 264 text pages, includes 112 pictures and 5 tables.

MAIN CONTENTS OF THE DISSERTATION

Introduction is proved the actuality of the work, the goal is put and the research problems are formulated, elements of scientific novelty are given, stated the scientific and practical significance of the results of work, it is given the main statements sumbiting for defence.

In the first chapter is considered brief information on the modern technological machines applied for cotton-raw processing, and the analysis of working capacity of responsible details of machines and the mechanisms, influenced on reliability and durability of cotton-ginning equipment.

It is shown, that practically in all technological chain of cotton-raw processing (clearing, ginning, linting, delinting) are applied by cotton-ginning machines where the most important and responsible detail of working body of the machine, is the saw disk. The quantity of saw disks only in one machine, depended on the purpose and modification, is made within the limits of from 90 up to 130. To mass character of the given detail is added one more undesirable factor - preparations in the form of disks from carbonaceous steel tool U8G are delivered completely from Russian Federation. Certainly, reduction of import of the given construction material due to increasing durability of details will make a serious basis for economic efficiency of cotton-raw processing.

Insufficiency of information about condition of labour surfaces of details of working bodies in machines (saw disk, a grid-iron, a shaft of saw cylinder), influence of parameters on quality of superficial layer on fatigue durability and durability of products, and also practical absence the complex scientific-methodological approach to the question of formation the quality of superficial layer by synthesizing micro-and macrorepresentations of processes of plastic deformation and destruction of materials, initiated necessity of carrying out the new research works till now.

Having considered, that process of deformation of materials at mechanical process represents quite difficult complex interconnected phenomena, in work is the necessity of application of fundamental physical laws and information from the major related subjects - shown the theory of elasticity and plasticity, thermophysics, the theory of dispositions from physics of a firm body, the thermodynamics of irreversible processes, etc. Scientific value of developed models is directly shown in opportunity of forecasting the durability of details through key parameters of quality of the superficial layer, formed the final operations finish-strengthening and mechanical process by cutting.

The second chapter is devoted to development of structural-energetic model (SEM) forming of the major parameter of quality of the superficial layer of details (technological residual pressure) after final (finished) machining with removal of allowance and finish-strengthening process by superficial-plastic deformation of metals.

For the first time the synthesis at micro and macrorepresentations about process of plastic deformation of metals representing on modern views of unbroken process of generating, is done, movement and annihilation of linear imperfections of crystal structure of metals-dispositions are executed. The universal (power) approach is developed for disclosing the mechanism of forming the quality of the superficial layer of the details, based on the adjacent and interconnected branches of knowledge: the theory of elasticity and plasticity, the theory of dispositions from physics of the firm body, thermodynamics of irreversible processes, thermophysics, tribology, processing of metals by pressure and cutting.

In the dissertation it is noted, that process of destruction of firm bodies and its previous stage - plastic deformation have unique physical essence: ability of local microvolumes of contact surfaces of details accumulate and transform the internal

(latent) energy of deformation U_s . This energy represents density of the energy which has been saved up by the superficial layer as a result of plastic deformation, and is actually the energy of dispositions. Storage of energy leads to occurrence of residual pressure, blocking of dispositions and is connected with such physical processes as internal friction, an elastic hysteresis, exoelectron issue, etc. Hence, the reserved energy can serve as the basic integrated and informative parameter of condition of the superficial layer, responsible both for degree of deformation hardening, and for intensity of residual field of pressure.

At cold plastic deformation (peening) of metal the most part (up to 97 %) of the mechanical energy spent for plastic deformation, is passed in heat, the other part ($\approx 0,5 \dots 3$ %) is accumulated in the superficial layer of metal in the form of the so-called latent energy of peening ΔU , which concept is entered on the basis of the first law of thermodynamics:

$$\Delta U = W - Q = U_s; \quad |Q| < |W|, \quad (1)$$

where ΔU – changing of internal energy of body; Q – the thermal effect connected with deformation; w – work (positive if it is made above body).

At deformation of hardening or peening metal ΔU – the positive size is also equal to the latent energy of peening U_s . Owing to accumulation in metal of the latent energy of peening, the deformed condition is unstable and might be approached under favorable conditions of return and recrystallization, accompanying allocation of the latent energy. The latent energy U_s of deformation represents scientific interest for the several reasons: for research process of plastic deformation; for the analysis of the physicomachanical nature of deformation hardening; for research processes of the restoration proceeding in the superficial layer plastically deformed metal.

Not all the processes, satisfying to the requirement of the first law of thermodynamics (feasibility of the law of conservation of energy) can be realized in the full form. Therefore it is necessary to address to the second law of thermodynamics according to which for reversible processes the attitude dQ/T is full differential function of condition of the system. The integral of this full differential is the state parameter which is being entropy dQ/T of system and as the extensive size is proportional to quantity of substance:

$$dS = dQ/T \quad \text{or} \quad dQ = TdS, \quad (2)$$

where dQ – the heat, given system at elementary reversible process; T – thermodynamic (absolute) temperature of system during process.

It is received the basic thermodynamic ratio for deformable bodies in which it is considered works of forces of internal pressure:

$$dU = \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} + TdS, \quad (3)$$

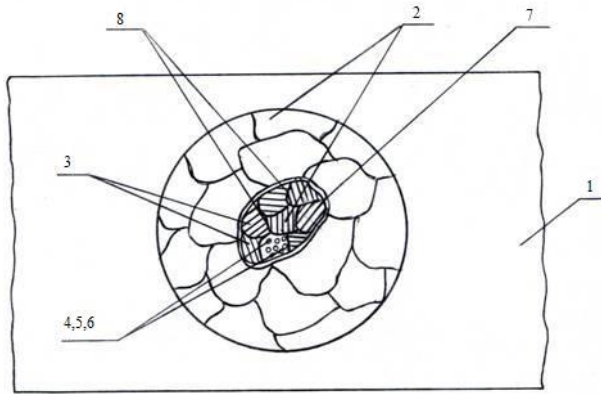
where dU – infinitesimal change of internal energy; σ_{ij} – tensor of pressures; $d\varepsilon_{ij}$ – tensor of deformations, generally equal to the sum of elastic ε_{ij}^u and plastic ε_{ij}^p deformations.

In the equation (3) infinitesimal change of internal energy dU is expressed through heat content systems and change the tensor of deformation dU . The increment of internal energy dU is full differential and independent variables in the equation (3) are the deformations ε_{ij} and entropy S .

We shall express the pressure σ_{ij} depending on deformation ε_{ij} and entropy S . For this purpose we shall spread out function $U(\varepsilon_{ij}, S)$ in sedate line in the vicinity of a natural condition $U(0, S_0)$ and, keeping linear and square-law members, and also limiting linear parities between pressure σ_{ij} , deformations ε_{ij} and changing the entropy ΔS , the dependence is received:

$$\sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}, S) = \left(\frac{\partial U}{\partial \varepsilon_{ij}} \right)_S = \frac{\partial U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij}} + \frac{\partial^2 U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij} \cdot \partial \varepsilon_{kl}} \cdot \varepsilon_{kl} + \frac{\partial^2 U(0, S_0)}{\partial \varepsilon_{ij} \cdot \partial S} (S - S_0). \quad (4)$$

The equation (4) represents the linear ratio for small deformations in which it is necessary to put $dU(0, S_0) / d\varepsilon_{ij} = 0$ as in natural condition at $\varepsilon_{ij} = 0$, $S = S_0$ and should be $\sigma_{ij} = 0$.



1 - sample; 2 - grains (crystallites); 3 - blocks of a mosaic; 4,5,6 - according to a disposition, atoms, electrons; 7 - borders of grains; 8 - borders of blocks of a mosaic

Fig.1. Structural elements of the crystal body (metal or alloy):

For the first time it is offered to consider residual pressure of II sort as equally effective residual pressure of III sort, counter balanced in volumes, commensurable atoms with group in vicinity of dispositions, and describing actual size of static mixtures of atoms from units of lattice because of dot defects. Physical distinction between residual pressure I sorts (the macropressure covering volumes, commensurable with the sizes of the detail) and II sorts (micropressure, operating in separate grains, blocks and their groups) does not exist and the

pressure of the first sort is similar to equal effective residual pressure of the second sort.

The analysis of structural elements (fig.1) and schemes of hierarchy of structural levels of deformation (fig.2) for the polycrystalline body has shown close interconditionality of the last with residual pressure of different scale. According to positions of physics of firm body mechanical pressure in metal and an alloy, irrespective of the causing reasons (action of forces, temperature, particles of high energy factors, etc.) are considered as consequence of distortion of the crystal lattice. Hence, as for residual micropressure, and submicroscopic, there is only a unique physical model of the mechanism of formation of these pressure - nuclear or dislocation model. In other words, in order to understand and describe the nature of

plastic current of metal, it is necessary to analyze the dislocation structural level in the superficial layer deformable crystal bodies.

The relative contribution of dispositions, vacancies and introduced atoms to the accumulated energy corresponds to the ratio 4,5:2:1. Thus, the basic source of accumulation of the latent energy are linear imperfections of crystal structure metals - a network of dislocation lines which lead to elastic distortions and, hence, to creation of residual pressure.

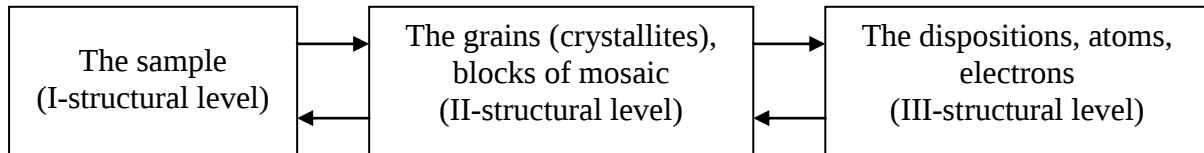


Fig.2. Hierarchy of structural levels of deformations for the polycrystalline body

For research of interrelation of the latent energy U_s and residual pressure it is necessary to lean on information on value and distribution of dispositions in burned and the plastically deformed metal. If burned metals contains from 10^6 up to 10^8 dispositions on 1 sm^2 in the deformed metals density of dispositions is higher and their probable number reaches $10^{11} - 10^{12}$ on 1 sm^2 . Their distribution depends on the kind, degree and temperature of deformation.

Analysing experimental dependence between the reserved energy and hardening deformation, in work the formula of intensity of the residual pressure, is received by modification of the formula of Z. Fridelja:

$$\sigma_{i \text{ ost}} = \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{\frac{E}{2}} \cdot \sqrt{U_s}, \quad (5)$$

where μ – Puasson`s factor; E – the module of longitudinal elasticity MPa.

Analyzing the dependence (5), it is possible to conclude, that knowing character of distribution and size of the latent energy U_s of deformation on depth of the superficial layer and elastic constants E and μ , it is possible to calculate intensity of the residual pressure connected with the main residual pressure. The last pressure directly influences weariness (endurance) of samples by changing of amplitude of the cycle stressing.

In the chapter is given the scientific substantiation of three analytical methods of calculation of the latent energy of deformation: 1) thermodynamic; 2) dislocational; 3) the method of diagrams deformation.

1. The thermodynamic method of definition of the latent energy of deformation $\Delta U = U_s$ is based on the first law of thermodynamics (1) and allows to carry out the analysis of the plastic deformation accompanying any kind of mechanical process of details of machines.

2. The dislocatoin method of definition of the latent energy of deformation is based on the three-phasic analysis of deformation of metal and covers kinetics and specificity of plastic deformation (development, degree and the sizes of damage)

according to the modern sight on its nature. The basic mechanism of plastic deformation of metals is realized through generating, movement, discharge and annihilation of dispositions.

Analyzing various models of deformation hardening (Taylor, Bassinskiy, Mott, and Hirsh's models), in work is received dependence for calculation of the specific reserved energy:

$$U'_s = \frac{(1 - \mu \cdot \cos^2 \alpha)(\sigma_i - \sigma_{0,2})^2}{4\pi(1 - \mu)\beta^2 \cdot G} \cdot \ln \frac{\beta \cdot G}{\sigma_i - \sigma_{0,2}}, J / mm^3 \quad (6)$$

where G – the module of shift, MPa ; b – Burger's vector, m ; μ – Puasson's factor; α – a corner between Burger's vectors and an axis of dispositions, *degree*; β – the numerical constant, is equal 0,3 ... 0,6; $\sigma_{0,2}$ – conditional limit of fluidity, MPa ; σ_i – intensity of normal pressure, MPa .

3. The method of the diagram of deformation is developed for definition of the latent energy of deformation in view of the generalized diagram of deformation of rod model (Mazing's model) solid environment with infinite number of subelements. According to the given model of the structural particles to make the element of volume, the cores deformed equally in the form of system. We also accept, that cores possess properties of ideal elastic-plastic material and modules of elasticity of cores are equal.

The formula of calculation of the latent energy of deformation on the basis of the method of the diagram of deformation is received:

$$U_s = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_i - \sigma_T}{E'} - \frac{\sigma_i - \sigma_T}{E} \right) (\sigma_i - \sigma_T) = \frac{(\sigma_i - \sigma_T)^2 (E - E')}{2EE'}, \quad (7)$$

where σ_T – a physical limit of fluidity of the processable material;

E' – the module of tangent (plasticity) or the module of deformation.

Thus, knowing mechanical characteristics of the material σ_T, E and E' , and also intensity of pressure, it is possible (7) to calculate on dependence the specific energy of deformation U_s on dependence.

Realization SEM provides to execute of the following consecutive stages making algorithm of calculation of technological residual pressure:

1. The schematization of power and temperature of stressing the superficial layer of a product at contact interaction with the cutting or strengthening tool.
2. Calculation of making forces and operating pressure in a zone of contact of the tool with a processable detail.
3. Power and termophysic analyses of deformation: definition of work of deformation A and allocated heat Q .
4. Calculation of specific latent energy U'_s of deformation on one of three offered methods: on the basis of thermodynamic parity $U_s = A - Q$; usage of the schematized diagrams of deformation $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$; on the basis of dislocation theories of plastic deformation of metal and an assumption of equality energy $U_s = E_d$ (energy of dispositions).

5. Definition of intensity of residual pressure $\sigma_{i\text{ ost}}$ dependences upon the level of the latent energy of deformation U_s .
6. Calculation of main residual pressure $\sigma_{1\text{ ost}}$, $\sigma_{2\text{ ost}}$ and $\sigma_{3\text{ ost}}$ depending on the kind of the intense condition.

In the third chapter are presented the results of researches of mechanics of contact interaction at dynamic is superficial-plastic deformation in fraction of metal surfaces.

In the work the problem of contact interaction of striking particle with materials of a barrier is solved quasistatically, i.e. we consider, that mutual movings of spherical firm particle and elastic half-space, and also efforts contact are connected by the equations of statics. The given assumption follows that speed of impact v_0 is much less than speed of distribution of indignations in the form of elastic waves of compression and in a material shift.

The basic geometrical parameters of the center of deformation (fig.3.) are diameter d and depth h a plastic print. Processing of the surface of a detail by impacts of fraction is characterized by localness of deformation process. If kinetic energy W_0

of the flying fraction is sufficient for forming on the surface of contact the intensity of pressure σ_i exceeding a dynamic limit of fluidity $\sigma_{T,D}$ on a processable surface damages are created in the form of plastic print in the form of lune.

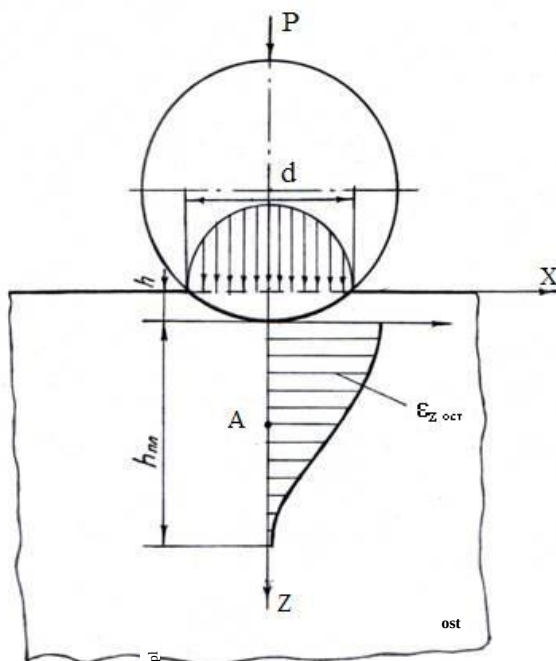
Converting M.M.Saverina's formula for calculation of a degree of superficial deformation in view of communication ψ between dynamic H_D and static hardness HB on Brinell's ($H_D=1,7 HB$), and also values of kinetic energy of fraction $W_0=mv^2/2$, the received dependence is convenient for practical using:

$$\psi = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,18 \cdot W_0}{HB \cdot \pi D^3 g}}, \quad (8)$$

where m and D – accordingly weight, kg and diameter split up, m; v – speed of impact, m/s; g – acceleration of free falling, m/s².

Results of calculation of degree superficial deformation and

its dependence on regime parameters shot processings ($v=10 \dots 90$ m/s, $D=0,5 \dots 2,5$ mm, $HB 100 \dots 400$) are given on fig.4. With increasing in hardness of processable



d, h – accordingly diameter and depth of the print;
 P – force of pressing

Fig. 3. The scheme of dynamic pressing of a sphere in a strengthened surface and qualitative epura residual deformations of axial compression on thickness of plastically deformed layer h_{pl}

material the degree of superficial deformation ψ monotonously decreases, and for great values D and v absolute value ψ also increases (accordingly on 0,057 and 0,094).

With increasing in speed of fraction from $v = 10$ up to 70 m/s (fig.4,b.) because of increasing of kinetic energy the degree of superficial deformation noticeably raises: in 2,63 and 2,75 times accordingly for $D=1$ and 2 mm.

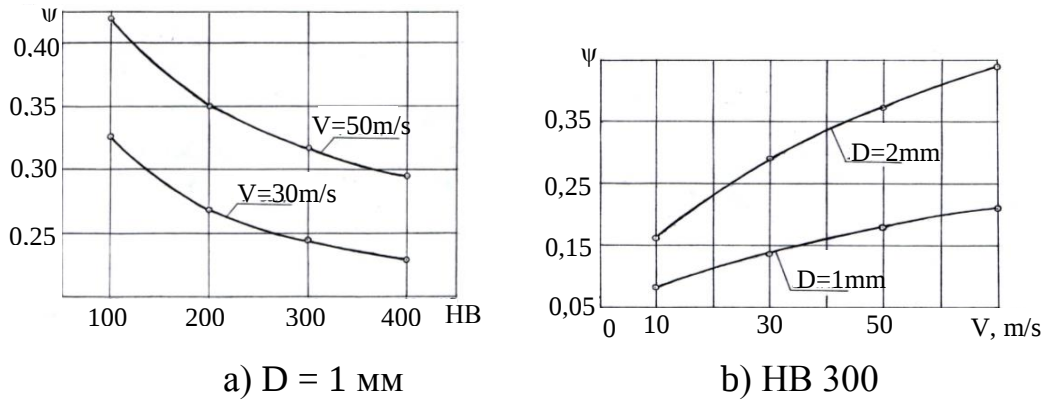


Fig. 4. Dependence of a degree of superficial deformation on hardness HB fractions at various values of speed v (a) and at various values of diameter D from speed v (b)

The deformed condition at SPD is estimated not only a factor ψ , but also thickness of plastically deformed layer of peening $h_{pl}=h_n$, and also intensity of changes of deformation in the most typical zone of pressing of a sphere - axial. When the processable surface of the detail is completely covered by prints, it is possible to assume, that compression of all layers on thickness will correspond on the average to deformation of axial compression under one print, qualitative diagram which is shown on fig.3.

As a result of frequent dynamic influence at shot processing the radius of the plastic print will increase up to the certain size, and then practically remains the constant. In view of it, the formula for radius of plastic print becomes:

$$a = K \cdot D \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_m v^2}{10,2 \cdot HB \cdot g}}, \text{ mm} \quad (9)$$

where $K=1,3 \dots 1,5$ – factor of increasing in diameter of print; ρ_m – density of material fraction.

As follows from expression (9), the radius of print is directly proportional to diameter of fraction at constant value of speed v and hardness HB of processed material. With increasing in hardness of a material the radius of print naturally decreases (fig.5.), and, in all range of change of hardness radius of print a at $v = 50$ m/s are more, than at $v = 30$ m/s that expressed great value of the kinetic energy responsible for formation of the sizes of center of deformation. With increasing in speed from $v = 10$ up to 70 m/s the radius prints increases in 2,65 times.

In work the analytical method of definition for the first time is developed the factor of restoration of speed k at impact with the purpose of establishment of the settlement dependence connecting it with parameters of a firm particle and

physicomechanical characteristics, available in reference books. Known calculated-experimental methods definition of factor k differ from the big labour input at practical realization as it is necessary to conduct series of experiences and to measure carefully parameters of shock lunes.

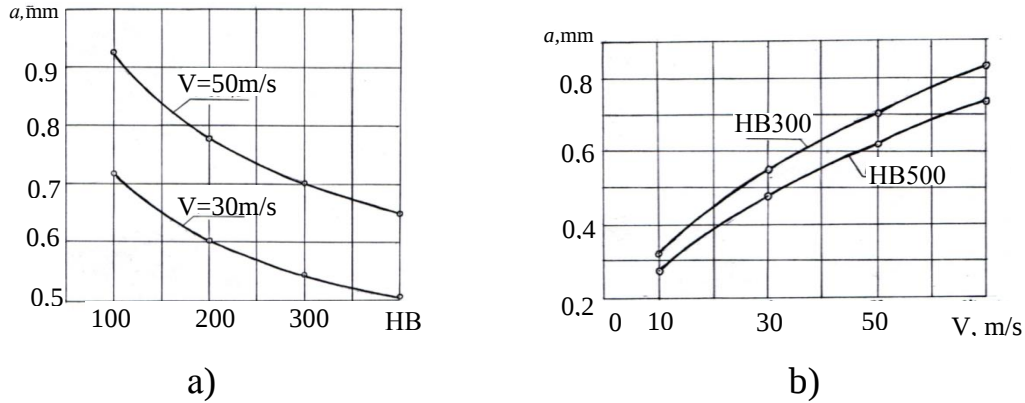


Fig. 5. Dependence of degree of superficial deformation on hardness HB fractions at various values of speed v (a) and at various values of diameter D from speed v (b)

At contact of particle to a metal barrier there is a loss of its initial kinetic energy $W_0 = mv_0^2 / 2$ (energy before impact) because of elastic-plastic deformations of metal. Therefore speed of imprint v_1 particles will be less, than v_0 . Energy of the jumped aside particle accordingly will be equal $W_1 = mv_1^2 / 2$. Hence, absolute reduction of kinetic energy ΔW the hitting particle will make:

$$\Delta W = W_0 - W_1 = W_0 (1 - k^2) = mv_0^2 (1 - k^2) / 2, \quad (10)$$

where we shall receive expression for factor of restoration

$$k = \sqrt{1 - (\Delta W / W_0)} = \sqrt{1 - \beta} = \sqrt{W_1 / W_0}, \quad (11)$$

i.e. for its definition at direct impact is necessary the knowledge of work of elastic restoration local zone of contacting which is practically equaled kinetic energy of a firm particle after impact W_1 .

Applying Meyer's law and geometrical parities at static introduction of a firm particle in a plane, elastic-plastic contacting of spherical indenter we shall present dependence for pressing force P :

$$P = 8^{0.5n} \cdot N \cdot R_1^{0.5n} \cdot h^{0.5n}, \quad (12)$$

where N - a constant describing material, and depending on diameter of a ball; n - a constant describing material, and not dependent on diameter of a ball, but changing together with peening for the same materials; usually n it is equal from 2 (burned) up to 2,5 (the tempered materials); $R_1 = D/2$ - radius of a ball; h - depth of introduction of a firm particle.

If we consider, that the constants n and N describing properties of materials in the equation of Meyer accept values $n=2$ and $N=\pi H_\mu/4$, where H_μ - dynamic hardness on Meyer's work of elastic restoration W_1 will be defined from simple expression:

$$W_1 = 1,77 (R_1^{0,75} \cdot H_\mu^{1,25} \cdot W_0^{0,75}) / E_{pr}. \quad (13)$$

Thus, according to expression (11) in a final kind of the formula is received for calculation factor of restoration of speed at impact:

$$k = 1,79 \sqrt{R_1^{0,75} \cdot HB^{1,25} / (W_0^{0,25} \cdot E_{pr})} . \quad (14)$$

The analysis of expression (14) shows, that at direct impact the factor of restoration of speed k depends on kinetic energy and the size of particles, hardness of material of a barrier, the module of elasticity and Puasson's factor of striking bodies. Comparison of settlement values of factor of restoration k under the formula (14) with experimental data testifies to high convergence of results: for steel 45 $k_{cal}=0,476$, $k_{exp}=0,458$; for armko-iron $k_{cal}=0,317$, $k_{exp}=0,316$; of the condition of experiences and necessary parameters for calculation were the following: diameter of steel balls $2R_1 = 10^{-3} m$; weight $m = 4,09 \cdot 10^{-6} kg$; a corner of attack $\alpha = 90^\circ$; speed of a ball $V_0 = 22,7 m/s$; the material of a barrier - steel 45 in the normal condition (197 HV or HB1030 MPa); elastic characteristics of contacted materials $E_1=E_0=2 \cdot 10^5 MPa$, $\nu=\nu_0=0,3$.

Applying SEM for research of quality of the superficial layer of detail at processing in fraction provides the obligatory analysis balance of energy. The balance of energy is made on the basis of consideration of process of impact of sphere with a flat surface of a body in the form of separating completed stages of its movement: elastic introduction, plastic introduction, leap aside surface of a body.

In the chapter it is executed termophysic analysis of process shock SPD details. It is received the equation of connection of thermal, mechanical and internal energy for process of impact of sphere and a metal surface

$$W_0(1 - k^2) - \Delta U = Q_i + Q_{sh} . \quad (15)$$

By virtue of assumption about undeformation of firm particle (fraction) it is possible to write down: $\Delta U = \Delta U_i + \Delta U_{sh} \approx \Delta U_i$. The account of change of internal energy ΔU is obligatory in questions of formation of quality of the superficial layer. On the deciding the questions of thermophysics, in particular, definition of average contact temperature at impact, glorifications ΔU neglect in practical calculations. The equation for calculation of temperature of any point is received bodies in zone of impact by sphere:

$$\theta = \frac{(1 - b)W_0(1 - k^2)}{\lambda_i \sqrt{\omega_i} (4\pi t)^{3/2}} \exp \left[- \frac{R^2}{4\omega_i t} \right] , \quad (16)$$

where $\theta(x, y, z, t)$ – temperature of a point of body, $^\circ C$; b – the factor describing a share of intensity of heat; extending in sphere; λ – factor of heat conductivity, $W/(m \cdot ^\circ C)$; $\omega = \lambda/(c\rho_m)$ – factor of thermal conductivity, m^2/s ; $c\rho_m$ – a volumetric thermal capacity, $J/(m^3 \cdot ^\circ C)$; $R = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$ – distance from a source of heat up to a considered point with coordinates x, y, z, m ;

For calculation of time t , corresponding maximal depth of penetrating of a ball and its contact equal to time with surface of a body, it is necessary to consider the equation of movement of a body in the processable environment:

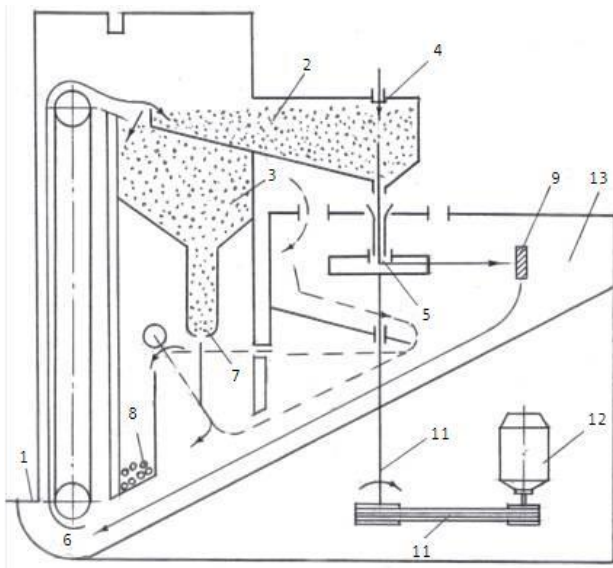
$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = -2\pi R \sigma_T h, \quad (17)$$

where m and R – accordingly weight and radius of a ball; σ_T – limit fluidity of material of a barrier; h – depth introduction of a ball.

The decision of the differential equation (65) we shall present in the form of which in the weight of a ball m is expressed through its volume and density ρ_m :

$$h = \nu D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} \cdot \sin \left(\frac{1}{D} \cdot \sqrt{\frac{6\sigma_T}{\rho_m}} \cdot t \right), \text{ mm}; \quad t = \frac{\pi}{2} D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}}, \text{ s}. \quad (18)$$

In the fourth chapter are presented the results of theory-experimental researches of quality of the superficial layer of saw teeth and grid-irons by shot



- 1 – elevator's bunker; 2 – bunker of the nutritious device; 3 – bunker of a separator; 4,7 – throttles; 5 – rotor with shot wheel; 6 – bottom collector of elevator; 8 – bunker; 9 – processable detail; 10 – shaft; 11 – V-belt transfer; 12 – electric motor; 13 – working chamber; continuous arrows - fraction; stroke-air

Fig.6. The basic scheme of shot device of the plant UDP-2-3.5

process are presented to processing, and also results of separate experiences at static SPD and process by cutting as with the purpose of comparison of data on parameters of quality of the processed surface, and check to develop SEM formations of technological residual pressure.

Experimental researches of shot processing in saw disks carried out on plant UDP-2-3.5 in conditions of Tashkent aviation production association named Tchkalov. Data installation (fig.6.) is intended for superficial hardening responsible details of machines and consists of 12 serially let out shot devices 42115, 42125. Deformation hardening (peening) defined by measurement of microhardness H_μ on samples - inclined microsections which received by means of cutting sample under the corner $\alpha=5^{\circ}04'$ to an investigated surface.

Tests spent on device PMT-3 a tetrahedral diamond pyramid. Microhardness H_μ defined on result of measurement the diagonals of the prints received at loading 0,98 H. Deformation hardening estimated depth of peening h_n , degree U and intensity of peening on depth - a gradient of peening U_{gr} .

Residual tangential pressure defined on ring samples on the method of acad. N.N. Davidenkov with special use of the equipment providing continuous strain-measurement. Research of the roughness of the processed surface the micron - an average arithmetic deviation of the structure and record profilograms on an

electrowire paper spent on profilometre-profilograph models 201 of a factory "Calibre" with fixing integrated signs of parameter R_a .

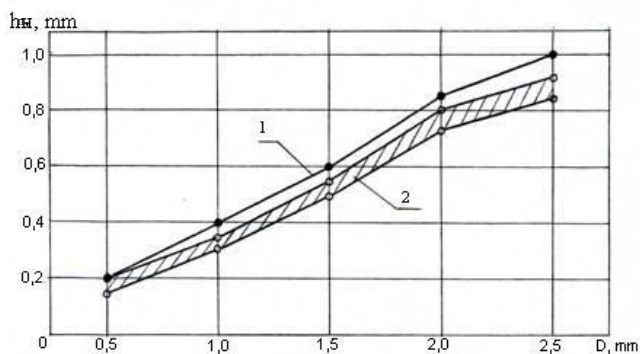
The received formula for the maximal force of impact P expressed through initial kinetic energy W_0 of a hitting ball:

$$P = \sqrt{2\pi W_0 D \sigma_T}, \text{ N} \quad (19)$$

Using a parity (19) as deforming force known the formula of S.G. Hejfetsa will be transformed to a kind

$$h_n = \sqrt[4]{\pi W_0 \cdot D / (2\sigma_T)}, \text{ mm} \quad (20)$$

It is established, that depth of peening h_n , calculated under the formula (20), with sufficient accuracy for practice coincides with skilled data and the divergence makes within the limits of 8,5 ... 14,3 % (fig.7.).



1 – experimental data;
2 – settlement data.

Fig.7. Dependence of depth of deformation hardening (peening) h_n from diameter D of steel balls at shot processing of titanic alloys ($\sigma_T = 780 - 1075 \text{ MPa}$)

Results of experimental research of microhardness of the superficial layer of samples from steel U8G have shown, that depth and degree of peening increase with extending in time of processing in fraction from $t=1$ before 4 min: degree U and depth of hardening accordingly increase on 9,8 % and 0,06 mm at initial microhardness of superficial layer $H_\mu = 3560 \text{ MPa}$.

The maximal degree of hardening $U=33,4$ of % is reached at $t=4\text{min}$ ($v=30\text{m/s}$, $D=0.6 \text{ mm}$). This

mode provides limiting thickness of the strengthened layer $h_n = 0.23 \text{ mm}$. Processing in fraction during $t=6 \text{ min}$ also is more inexpedient, as thus microhardness on a surface of samples decreases also maximum of hardness is displaced in subsurface layer (fig.8.). With increasing in speed the flight of fraction from 8 up to 30 km/s at $t=4 \text{ min}$ the degree of peening increases from 14 up to 28 %. The further increase in speed and time of processing leads to decrease in deformation hardening in connection with repeening.

Increasing in diameter of fraction D and speeds of its flight v_0 at processing teeth saws lead to growth of depth peening h_n and intensity of deformations owing to increase in kinetic energy of fraction and intensification of process of plastic deformation of the superficial layer of strengthened detail (fig.9.).

As shown in the researches, at hardening in fraction $D=0,4\text{mm}$ of carbonaceous steel tool U8G at $v=30\text{m/s}$, $t=3 - 4 \text{ min}$ there is a decrease in parameters of a roughness: an average arithmetic deviation of structure R_a with 2,4 up to 1,8 mkm, heights of roughnesses R_z with 5,5 up to 4mkm. It is necessary to note, that shot processing of the polished samples at the same modes leads to increase of a roughness: R_a from 0,2 ... 0,3mkm up to $R_a \dots 1,2 \text{ mkm}$. The roughness that above, is

more speed of flight in fraction. Thus, specificity of strengthen processing of details of machines impacts of fraction is that depending on an initial geometrical condition of strengthened surface, diameter, speeds of flight split up a roughness of surface can increase or decrease.

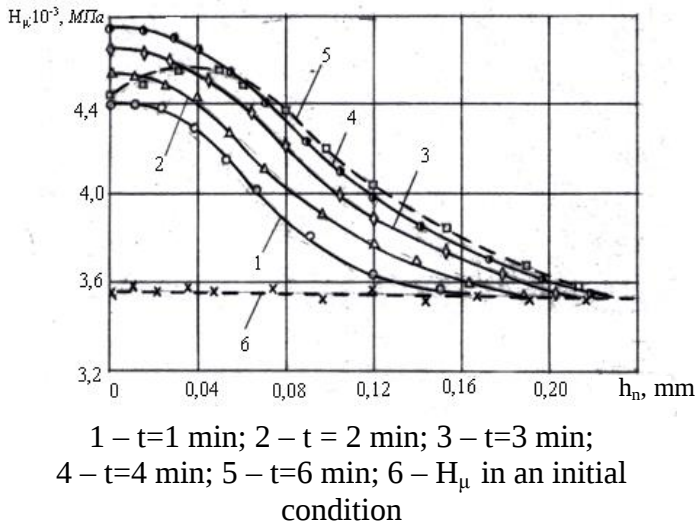


Fig.8. Distribution of microhardness H_μ on depth of the superficial layer h_n steel U8G depending on time of processing in fraction

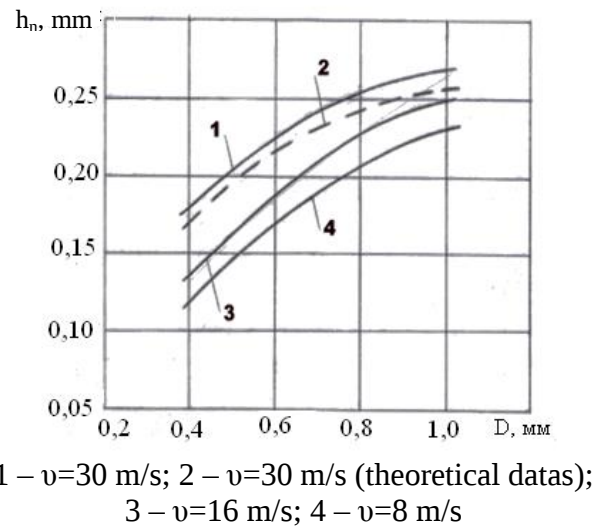


Fig.9. Dependence of peening's depth h_n from diameter of fraction D at shot processing

In the given chapter, analyzing kinetics elastic-plastic deformation of the superficial layer of metal during introduction in its spherical indenor, law of formation of roughness is opened and it is analytically certain high-altitude parameter R_z . Theoretical definition of height of roughness R_z carried out according to the developed technique under the formula:

$$R_z = V_0 D \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} - \frac{3k^2 W_0}{2\pi D^2 \left(0.5 - v_0 \sqrt{\frac{\rho_m}{6\sigma_T}} \right)^2 \sigma_T} . \quad (21)$$

Settlement values of parameter R_z differ from experiment within the limits of 5,8...10,5 % that confirms an acceptability for use in practice the given design of procedure.

Being based on structurally-energetic model of formation of quality of the superficial layer, the algorithm of calculation of the technological residual pressure formed at shot hardening of details of machines is developed: 1. Calculation of radius of plastic print. 2. Definition of the static force P corresponding radius of plastic print. 3. Calculation of normal pressure p_0 and intensity of pressure σ_i under the formula. 4. Definition of factor restoring speed. 5. Calculation of energy of impact of a firm spherical particle in view of factor of restoration speed. 6. Definition of the latent energy of deformation U_s equal to change of internal energy ΔU of superficial layer. 7. Definition of intensity the residual pressure.

For calculation of intensity the residual pressure the mode shot hardenings is chosen in view of results before the spent experimental researches presented in the form of nomogram, and convenient for practical use. So, the mode and conditions shot processings corresponded: hardness of processable material HV80 ... 560; diameter split up $D = 0,5 \dots 3$ mm; the charge split up $q = (0,75 \dots 12) \cdot 10^{-3}$ kg/(sm²·s); speed split up $v = 30 \dots 80$ m/s.

Intensity of residual pressure on depth of the superficial layer z , calculated on the given algorithm, corresponds to values:

$$\begin{aligned} \sigma_{i\text{ost}} &= 1094 \text{ N/mm}^2, \quad z = 0,05 \text{ mm}; & \sigma_{i\text{ost}} &= 1082 \text{ N/mm}^2, \quad z = 0,1 \text{ mm}; \\ \sigma_{i\text{ost}} &= 933 \text{ N/mm}^2, \quad z = 0,2 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Theoretical values of intensity of residual pressure differ from experimental no more, that on 2 ... 10 % that allows to use confidently them in forecasting to an estimation of durability and fatigue durability saw disks of cotton-ginning machines in view of operational loadings.

The fifth chapter of dissertation work is devoted to development of the method of forecasting the fatigue durability and durability of details of machines in primary cotton processing with accounts of technological residual pressure in the superficial layer of products. It is given the results of industrial tests and an economic estimation of efficiency of introduction of strengthening process in saw disks.

The algorithm of calculation on multicyclic weariness is developed in view of technological residual pressure on the basis of the analysis of known dependences between loop variables of pressure (σ_a, σ_m), a limit of endurance σ_{-1} and strength σ_s .

(Goodman's line, Birger, Gerber, Marin's parabolas). For example, for Birger's parabola

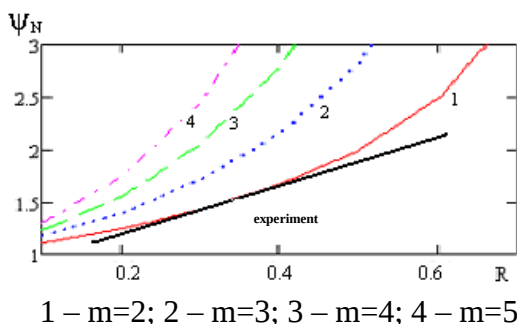
$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} \right)^2 + \frac{\sigma_m}{\sigma_v} = 1. \quad (22)$$

Peak value of pressure cycle σ_a at a symmetric cycle $\sigma_m = 0$ of pressure corresponds to expression

$$\sigma_a = \sigma_{-1} \sqrt{1 - \frac{\sigma_{i\text{ost}}}{\sigma_v}}. \quad (23)$$

In processes of finish-strengthening processing and cutting in the superficial layer of details there is a volumetric residual field of pressure, but in view of their small depth of position is accepted to consider the flat residual intense condition created by tangential and axial pressure. As it is followed from the theory of the elasticity, the intense condition are characterized by intensity of pressure σ_i , and for the residual intense condition – accordingly $\sigma_{i\text{ost}}$.

The expression connecting number of cycles before destruction N_R with intensity of residual pressure $\sigma_{i\text{ost}}$ which for a symmetric cycle accepts the simplified kind is received



1 – m=2; 2 – m=3; 3 – m=4; 4 – m=5
Fig. 10. Dependence relative durability ψ_N from factor of residual pressure R at various values m for Birger's model

$$N_R = N_0 \left(1 - \frac{\sigma_{iost}}{\sigma_v} \right)^{-\frac{m}{2}}, \quad (24)$$

where N_0 – the number of cycles corresponding a point of crisis of curve weariness; σ_a – amplitude of pressure cycle (a limit of endurance in view of residual pressure); the $m=C/K_\sigma$ – factor describing an inclination left sites of the curve weariness (for carbonaceous steels $S=12 \dots 20$, alloyed $S=20 \dots 35$); $K_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{-1D} = 4 \dots 6$ – the factor, considering influence of all factors on resistance of weariness; σ_{-1D} – a limit of endurance details. In view of the resulted data for products from carbonaceous steels (saw disks) $m = C / K_\sigma = 2 \dots 5$, from alloyed steels $m=3,33 \dots 8,75$.

Such kind of expressions (24) received for various dependences (models) give quantitative and quality standard of interrelation of the entered factors of residual pressure $R = \sigma_{iost} / \sigma_v$ and relative durability $\varphi_N = N_R / N_0$.

In the chapter it is given the results of industrial tests ginning saws with strengthened teeth, spent in gin-linting room of Buka cotton-cleaning plant Tashkent region. Industrial tests have shown, that ginning saws strengthened on industrial installation UDP-2-3.5, (a mode of processing: speed split up $v=30$ m/s; diameter split up $D=0,6$ mm; time of processing $t=4$ min; the charge split up $q=250$ kg / min) have shown increase in their durability a minimum in 1,7 ... 2,0 times and more in comparison with factory saws at processing cotton-raw of manual gathering a grade of 5/3 selections S – 6524 of humidity of 13,1 %. The level of compressing residual pressure in the superficial layer teeth the saws having strength $\sigma_v = 1000$ MPa, has made thus $\sigma_{iost} = 200 \dots 600$ MPa. As follows from fig.10., results of experimental researches of durability strengthened gin saws in conditions of cotton cleaning factory will be coordinated with Birger's dependence (24) for $m=2$. It is received linear dependence of relative durability ψ_N :

$$\psi_N = 2,75 R + 0,558, \quad (25)$$

allowing to predict durability strengthened saw disks depending on level of compressing residual pressure and strength of a material.

The comparative analysis of condition saw disks has shown, that strengthened teeth (fig.11, a) have practically saved the form and geometrical parameters, and also a sufficient acuteness of top of a tooth even at time of operation $T=672$ hours not strengthened teeth of ginning saws which have worked $T=168$ of hours (fig.11, b,c) have undergone to catastrophic deterioration on back surface up to values $\Delta l = 1,3 \dots 1,5$ mm in the form of a rectilinear platform. Simultaneously to significant deterioration there is reduction height of a tooth h and reduction of technological space between next teeth, that in aggregate with the lost acuteness on top of a tooth reduces ginning productivity.

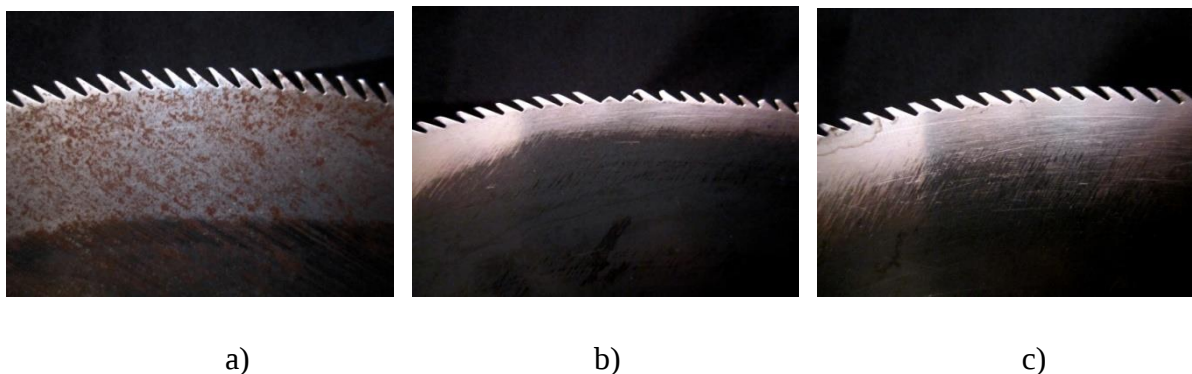


Fig. 11. Ginning saw with strengthened teeth(a) and not strengthened teeth (b-with broken and plastically deformed teeth, c - with worn out (teeth).

It is necessary to note, that saw disks, teeth of which are subjected by shot processing, save quality indicators of fibre and seeds.

Table

Quality indicators of a fibre and seeds

№ p/p	Technological parameters, %	Ginning with strengthened teeth of saws	Ginning with plant saw disks
1	Moisture content of cotton	13,1	13,1
2	Moisture content of fibre	6,46	6,46
3	Producing of fibre	26,38	26,12
4	Dropped seeds	12,45	12,7
5	Damaged seeds	7,33	7,73

Total annual economic benefit of shot inculcation of teeth on saw disks in two cotton-cleaning plants of Tashkent and Andijan regions has made hardenings 80992 thousands sum.

CONCLUSION

1. It is worked out the structural-energy model of formation and algorithm of calculation of technological residual pressure σ_{ost} in the superficial layer of details of working bodies of machines after mechanical processing.

2. It is established the interrelation of technological residual pressure σ_{ost} with a level of reserved (latent) energy U_s of deformations which can be defined on one of three developed methods: on the basis of the first law of thermodynamics; on the basis of dislocational representations and corresponding power parities (the theory of dispositions); by means of the schematized diagrams of deformation $\sigma_i=f(\varepsilon_i)$ constructional materials.

3. It is analytically identified the major parameter of contact interaction at impact of firm bodies - factor of restoration of speed k at impact on the basis of a schematization of contact of fraction with a processable material: one-act impact of a rigid spherical firm particle with average speed of a stream v_0 under a right angle

$\alpha=90^\circ$ with elastic semi-space (a deformable body, including its homogeneous and isotropic).

4. It is received the main correlation on the basis of structural-power model the parities, allowing to define the specific reserved energy U_s equal to change of internal energy ΔU of a superficial layer, and defined on one of three developed methods: thermodynamic, dislocations and a method of the diagram of deformation of a processable material.

5. In work the basic parities for the latent energy of deformation U_s on the basis of the thermodynamic analysis of power balance are received at deformation of a cut off bladed layer by the tool and static methods SPD (running by balls and diamond smoothing). Methods of calculation of the latent energy of deformation are developed at cutting materials with various physicomachanical properties and on the basis of the schematized diagrams of deformation of constructional materials.

6. It is worked out the algorithm of calculation of technological residual pressure on structurally-power model at shot hardening of details of machines. Theoretical values of the residual pressure calculated on SEM on the basis of the first law of thermodynamics ($\sigma_{i\text{ ost}}=1095\text{ N/mm}^2$) and theories of dispositions ($\sigma_{i\text{ ost}}=1061\text{ N/mm}^2$) are in good comparability to data of experimental researches ($\sigma_{i\text{ ost}}=1080\text{ N/mm}^2$) since difference of the resulted data makes accordingly 1,4 and -1,7 % it is a reliable substantiation for use of theoretical values of residual pressure in forecasting to an estimation of durability and fatigue durability of details of machines.

7. For the first time it is proved, that for a residual field of pressure the first invariant of tensor in pressures is carried out, being linear, i.e. having values axial $\sigma_{x\text{ ost}}$ and tangential $\sigma_{y\text{ ost}}$ residual pressure and their intensity $\sigma_{i\text{ ost}}$, it is possible to calculate the main residual pressure $\sigma_{1\text{ ost}}$ and $\sigma_{2\text{ ost}}$. These pressures are used at calculation on durability in conditions static and cyclic stressing.

8. It is executed the estimation of influence of technological residual pressure on durability (bearing ability) designs at multicyclic stressing and the algorithm of calculation on multicyclic weariness and a resource of work saw disks of cotton-ginning machines is developed. Calculation of fatigue durability is made by means of the theoretical decision of a problem of formation the technological residual pressure at the flat intense condition.

9. From the equation of movement of absolutely rigid sphere (ball) in the processable environment (semi-infinite firm body) at an assumption about a constancy of average pressure of resistance to introduction or average pressure of current (a limit of fluidity σ_r) the formula for theoretical definition of peening's depth h_n is received. Reliability of settlement values h_n is confirmed also by experimental data of other researchers. The basic laws of influence of parameters shot processings of teeth on saw disks on depth and a degree of deformation hardening are received. Optimum modes of processing are certain: speed split up $v=30\text{ m/s}$; diameter split up $d=0,6\text{ mm}$; time of processing $t=4\text{ minutes}$. This mode provides h_n depth of peening up to $0,23\text{ mm}$ with maximal superficial microhardness $H_\mu=4560\text{ MPa}$ and a degree of peening $U=33,4\%$.

10. It is received satisfactory concurrence for practical use (8 ... 12 %) experimental conditions of manufacture and theoretical values of durability saw disks with strengthened teeth. Industrial tests have confirmed high efficiency ginning saws with strengthened teeth of shot processing. Tests are spent at processing cotton-raw of manual gathering of a grade of 5/3 selections S – 6524 of humidity of 13,1 %. The increase in durability (up to two and more times) saw disks is connected with the raised superficial microhardness and preservation of a viscous core of teeth. As experiments testify, shot processing practically excludes operation of processing a saw cylinder in a sand bath since under action of a stream of fraction agnails smooth out and transitive surfaces with radius 0,2 ... 0,3 mm between sides of teeth are formed.

11. It is established, that ginning a cotton-raw with saw disks with strengthened teeth saves well quality of a fibre and cotton seeds. Economic benefit of introduction in manufacture ginning saws on two cotton-ginning factories Tashkent and Andijan regions were made with 80 992.3 thousands sum.

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

I бўлим (I часть; I part)

1. Джураев А.Д., Шин И.Г. О коэффициенте восстановления скорости при ударе твердой сферической частицы о плоскую металлическую преграду // Известия ВУЗов. Вестник ТГТУ. – Ташкент, 1995, № 1 – 4. – С.121 – 129.
2. Джураев А.Д., Шин И.Г. Методика расчета высотного параметра шероховатости при дробеударном упрочнении деталей машин // Известия ВУЗов. Вестник ТГТУ. – Ташкент, 2002, №2 – 3. – С. 29 – 33.
3. Шин. И.Г. Влияние технологических остаточных напряжений на усталостную прочность и долговечность деталей машин // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2004, №1. – С. 63 – 68.
4. Джураев А.Д., Шин И.Г., Саримсоков Д.А. Аналитический метод оценки деформационного упрочнения поверхностного слоя деталей машин при дробеударной обработке // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2004, №4. – С. 65 – 69.
5. Шин. И.Г., Джураев А.Д. Эффективность дробеударного упрочнения зубьев дисковых пил машин первичной обработки хлопка. // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2009, №1. – С. 7 – 11.
6. Шин И.Г. Расчет интенсивности технологических остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании валов пильного цилиндра хлопковых машин // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2009, №1. – С. 82 – 86.
7. Джураев А.Д., Шин. И.Г. Анализ напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при дробеструйном упрочнении деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва, 2009, №10. – С. 3 – 7.
8. Шин И.Г. Деформационные упрочнение дробью колосников машин первичной обработки хлопка // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2009, №4. – С. 57 – 60.
9. Шин. И.Г. Интенсивность остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва, 2010, №2. – С. 10 – 13.
10. Шин. И.Г. Расчет температуры в зоне контакта при дробеударном упрочнении деталей машин // Вестник машиностроения. – Москва, 2010, №1. – С. 67 – 69.
11. Шин. И.Г. Деформационные упрочнение поверхностного слоя деталей колеблющимся индентором // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва, 2010, №10. – С. 24 – 26.
12. I.G.Shin. Temperature in Gontact Zone during Shot Hardenung // Russian Engineering Research. – USA, 2010, Vol.30, №1. pp. 61 – 63.

13. Шин. И.Г., Максудов Р.Х. Метод расчета глубины упрочненного слоя деталей при поверхностной обработке дробью // Вестник машиностроения. – Москва, 2011, №4. – С. 44 – 47.
14. I. G. Shin and R. Kh. Maksudov. Depth of the Shot-Hardened Surface Layer on Machine Parts // Russian Engineerig Research. – USA, 2011, vol.31, No.4, pp. 338 – 341.
15. Муминов М.Р., Шин И.Г., Максудов Р.Х. Анализ эксплуатационного состояния зубьев дисковых пил и геометрический критерий их работоспособности // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2011, №3. – С. 8 – 15.
16. Муминов М.Р., Маматова Д.А., Шин И.Г. Энергетический подход для оценки шероховатости упрочненной поверхности деталей при обработке дробью // Вестник машиностроения. – Москва, 2012, №4. – С. 60 – 63.
17. M.R.Muminov, D.A.Mamatova and I.G.Shin, Assesung the Surface Raughness of Parts affer Shot Hardening // Russian Engineering Research. – USA, 2012, Vol.32, No.4, pp. 357 – 359.
18. 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.
19. 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.

Патентлар (патенты; patents)

20. Джураев А.Д., Шин И.Г., Шин. Д.И., Джураев И.А. Дробеметная установка для упрочнения деталей // Патент на полезную модель РУз № FAP 00513 от 31.12.2009г. по заявке №2008 0119 от 17.11.2008 г.
21. Джураев А.Д., Шин И.Г., Максудов Р.Х., Муминов М.Р., Шодмонкулов З.А. Джинная пила // Патент на полезную модель РУз № FAP 00869 от 02.12.2013 г. по заявке №2012 0066 от 22.05.2012 г.

II бўлим (II часть; II part)

22. Шин И.Г., Хасанов М.Р. К вопросу о формировании остаточных напряжений на основе энергетических соотношений при дробеударном упрочнении деталей машин // Проблемные вопросы механики и машиностроения: Республиканская научно-техническая конференция. – Ташкент, 1993. – С. 133 – 134.
23. Шин И.Г., Джураев А.Д. Структурно-энергетическая модель формирования технологических остаточных напряжений в поверхностном сил деталей // Проблемные вопросы механики и машиностроения: Республиканская научно-техническая конференция. – Ташкент, 1993. – С.179.
24. Шин И.Г., Джураев А.Д. Влияние технологических остаточных напряжений на усталостную прочность деталей машин, упрочненных ППД// Решение

проблемных вопросов теории механизмов и машин: Республиканская научно-техническая конференция. – Фергана, 1994. – С. 179 – 180.

25. Шин И.Г., Хасанов М.Р. Аналитическое определение плотности дислокаций в поверхностном сил деталей, упрочненных дробеструйной обработкой // Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин: Республиканская научно-техническая конференция. – Фергана, 1994. – С. 175 – 176.

26. Шин И.Г., Мусаханов Р.А. Методы расчета скрытой энергии деформирования конструкционных сталей и сплавов при механической обработке // Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин: Республиканская научно-техническая конференция. – Фергана, 1994. – С. 176 – 177.

27. Шин И.Г., Хасанов М.Р., Мусаханов Р.А. Теплофизический анализ процесса дробеударного упрочнения деталей машин // Решение проблемных вопросов теории механизмов и машин: Республиканская научно-техническая конференция. – Фергана, 1994. – С. 151 – 152.

28. Шин И.Г. Структурно-энергетический подход при оценке остаточных напряжений в поверхностном сил деталей, упрочненных в процессе механической обработки // Приватизация предприятий текстильной и легкой промышленности, проблемы внедрения новой техники и технологии: Республиканская научно-практическая конференция. – Наманган, 1996. – С. 290

29. Шин И.Г. Влияние технологических остаточных напряжений на усталость и долговечность изделий // Великий шелковый путь. Научные основы производства и переработки натурального шелка: Международная научно-техническая конференция. – Ташкент, 1996. – С. 152 – 153

30. Шин И.Г., Мусаханов Р.А. Теплофизика контактного взаимодействия при дробеударном упрочнении деталей машин // Великий шелковый путь. Научные основы производства и переработки натурального шелка: Международная научно-техническая конференция. – Ташкент, 1996. – С. 154 – 155.

31. Джураев А.Д., Шин И.Г., Джураев И.Д. Повышение эффективности поверхностного пластического деформирования деталей машин на основе переменных параметров режима упрочнения // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс - 2001): Международная научно-техническая конференция. – Иваново, 2001. – С. 295 – 296.

32. Шин И.Г. Расчет коэффициента восстановления скорости при ударном деформационном упрочнении деталей машин // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс - 2001): Международная научно-техническая конференция. – Иваново, 2001. – С. 296 – 297.

33. Шин И.Г., Джураев А.Д., Хайдаров Б.И. Новый метод механического упрочнения поверхностей деталей машин // Проблемы теоретической и прикладной механики: Международная научно-практическая конференция. – Алма-Аты, 2006. – С. 231.

34. Шин И.Г. Оптимизация механической обработки деталей из твердых сплавов по энергетическим затратам // Перспективы развития инновационных и интеграционных процессов хлопкоочистительной, текстильной, легкой и полиграфической промышленности: Международная научно-практическая конференция. – Ташкент, 2007. – С. 302 – 306.
37. Шин И.Г., Муминов М.Р. Эффективность дробеударного упрочнения чугунных колосников машин первичной обработки хлопка // Перспективы развития механики и технологии хлопкоочистительной, текстильной, легкой и полиграфической промышленности: Республиканская научно-практическая конференция. – Ташкент, 2009. – С.35.
38. Шин И.Г. Формирование и регулирование технологических остаточных напряжений при механической обработке резанием и деформационном упрочнении деталей машин // Инженерия поверхности и реновация изделий: – 10-я Юбилейная Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2010. – С. 242 – 244.
39. Шин И.Г., Максудов Р.Х. Энергетические затраты при механической обработке твердых сплавов инструментами из сверхтвердых синтетических материалов // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Международная научно-техническая конференция. – Одесса, 2010. – С. 156 – 158.
40. Шин И.Г., Максудов Р.Х. Технологическое обеспечение качества твердосплавных деталей при обработке резцами из синтетического алмаза // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: 10-я Юбилейная Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2010. – С. 203 – 205.
41. Шин И.Г., Джураев А.Д. Интенсификация процессов ППД с помощью переменных параметров режима упрочнения // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 11-й Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2011. – С. 337 – 338.
42. Муминов М.Р., Шин И.Г., Максудов Р.Х. Ударное деформационное упрочнение зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: 11-й Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2011. – С. 188 – 190.
43. Шин И.Г., Муминов М.Р. Интенсивность остаточных напряжений при алмазном выглаживании рабочих валов хлопковых машин // Инженерия поверхности и реновация изделий: 11-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2011. – С. 150 – 151.
44. Шин И.Г., Муминов М.Р. Энергетические критерий оптимального числа ударов при упрочнении чугунных деталей хлопковых машин // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Международная научно-техническая конференция. – Одесса, 2011. – С. 133 – 135.

45. Шин И.Г., Муминов М.Р. Технологическое обеспечение высотного параметра шероховатости поверхности при дробеударном упрочнении деталей машин // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: 11-я Международная научно-практическая конференция с действующими семинарами. – Ялта, 2011. – С. 102 – 104.
46. Шин И.Г., Муминов М.Р. Термодинамические соотношения при статическом поверхностно-пластическом деформировании деталей // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Международный научно-технический семинар. – Свалява, Карпаты, 2012. – С. 302 – 304.
47. Шин И.Г., Джураев А.Д. Аналитическое определение глубины наклепа при дробеударном упрочнении деталей машин // Найновите научни постижения–2012: VIII Международная научно-практическая конференция. – София, 2012. – С. 70 – 73.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. 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.
53. 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 ресурс- и энергосбережении: Международная научно-техническая конференция. – Одесса, 2013. – С. 113-116
54. 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.
55. 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.
56. 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.
57. Шин И.Г., Джураев А.Д. Напряженное состояние поверхностного слоя изделий при обработке резанием // Инженерия поверхности и реновация изделий: 13-я Международная научно-техническая конференция. – Ялта, 2013. – С. 300 – 302.
58. 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.

Подписано в печать 18.11.2014 г. Формат 60х84.^{1/16}
Гарнитура “Таймс”. Печ.лист 4,75. Тираж 100 экз. Заказ № 502.
Отпечатано в типографии ТИТЛП.
г.Ташкент, ул. Шахжахон 5.

