

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЮСУПОВ АБДУЛАЗИЗ АБДУЛЛАЖАНОВИЧ**

**ПЎЛАТ МАҲСУЛОТЛАРИНИ ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИЛИГИНИ  
ЦИКЛИК ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ УСУЛИДА ОШИРИШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси. Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси (Қуймачилик ва металларга ишлов бериш технологияси йўналиши)**

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

**Тошкент – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

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

**Юсупов Абдулазиз Абдуллажанович**

Пўлат маҳсулотларини ейилишга бардошлилигини циклик термик ишлов  
бериш усулида ошириш технологиясини такомиллаштириш.....3

**Юсупов Абдулазиз Абдуллажанович**

Совершенствование технологии повышения износостойкости стальных  
изделий методом термоциклической обработки.....21

**Yusupov Abdulaziz Abdullazhanovich**

Improving the technology of increasing the wear resistance of steel products by the  
method of thermal cycling .....37

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....41

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЮСУПОВ АБДУЛАЗИЗ АБДУЛЛАЖАНОВИЧ**

**ПЎЛАТ МАҲСУЛОТЛАРИНИ ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИЛИГИНИ  
ЦИКЛИК ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ УСУЛИДА ОШИРИШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга  
термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар  
металлургияси. Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси  
(Қуймачилик ва металларга ишлов бериш технологияси йўналиши)**

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

**Тошкент – 2021**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/T1432 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:** **Бердиев Дороб Муротович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:** **Норхуджаев Файзулла Рамазанович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Рискулов Алимжон Ахмаджанович**  
техника фанлари доктори, профессор

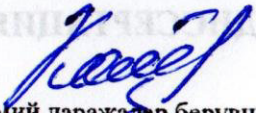
**Етакчи ташкилот:** **Навоний давлат кончилиқ институти**

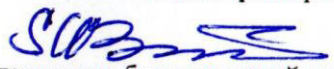
Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «18» июнь соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2. Тел./факс: (+998971) 227-10-32; e-mail: [tadqiqotchi@edu.uz](mailto:tadqiqotchi@edu.uz)).

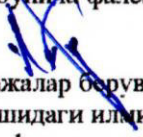
Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№209 рақам билан рўйхатга олинган) (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси-2. Тел: (998971) 227-10-32).

Диссертация автореферати 2021 йил «5» июнь тарқатилди (2021 йил «5» июндаги №123 рақамли реестр баённомаси).



  
**К.А. Каримов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

  
**Ш.Б. Ташбулатов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари бўлими фалсафа доктори, PhD

  
**Ф.С. Абдуллаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда дунё миқёсида машинасозлик саноатида қишлоқ хўжалиги техникаларини ишлаб чиқариш ва эҳтиёт қисимларини етказиб беришда корхоналар пўлатдан тайёрланган деталларнинг асосий ишчи юзаларининг ейилишга бардошлилигини таъминлашда циклик ишлов бериш технологиясини қўллаш, хизмат муддатини ошириш учун дислокация зичлигининг ўзгаришини таъминлаш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда. Бу борада пўлатдан тайёрланган деталларга циклик термик ишлов беришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминлайдиган ҳамда деталларнинг ейилишбардошлилигини термик ишлов беришдаги ток частотасини ўзгартириш асосида ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда пўлатдан тайёрланган деталларга ишлов беришда структурадаги фаза ўзгариш жараёнларини таъминлашга асосланган термик ишлов бериш усули билан уларнинг хоссаларини ошириш бўйича кенг қўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу билан бирга термик ишлов бериш жараёнларида қўлланиладиган электр энергиясини ноанъанавий термик ишлов бериш усуллари билан алмаштириш асосида энергия тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Ушбу йўналишда пўлатларнинг таркибига легирловчи элементлар қўшмасдан (легирламасдан), юқори частотали ток ёрдамида термик ишлов бериш қурилмасидан фойдаланиб, деталларнинг ейилишга бардошлилигини ва хизмат муддатини ошириш учун фаза ва структура ўзгаришларини таъминлашга асосланган термик ишлов бериш усуллари ва технологияларини такомиллаштириш долзарб вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Республикада машинасозлик деталларининг эксплуатацион хоссаларини, жумладан уларни термик ишлов бериш ёрдамида ейилишга бардошлилигини ва хизмат муддатини ошириш, термик ишлов бериш технологияларини такомиллаштириш, ишлаб чиқаришда материал сарфини камайтириш бўйича қатор чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017 - 2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...принципиал жиҳатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш...»<sup>1</sup> вазифаси белгилаб берилган. Шу нуқтайи назардан, фаза ва структура ўзгаришларини таъминлашга асосланган, ресурс ва энергия тежайдиган термик ишлов бериш усуллари ва технологияларни такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 июлдаги ПҚ –3117-сон «Қишлоқ хўжалигида машинасозлик соҳаси илмий-техника базасини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 4 январдаги ПҚ – 3459-сон «Қишлоқ хўжалигининг техник жиҳозланиш даражасини янада ошириш борасидаги қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги ва 2018 йил 10 майдаги ПҚ – 3712-сон «Қишлоқ хўжалигини ўз вақтида қишлоқ хўжалиги

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони

техникаси билан таъминлаш механизмларини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Жаҳоннинг етакчи олимлари, жумладан АҚШ тадқиқотчилари В.Ф. Закей, Е.Р. Паркер, Ф.Б. Пикеринг пўлатларни юқори ҳароратларда циклик қиздиришда фаза ўзгариши унинг хоссасига таъсирини аниқлаган, Англия тадқиқотчилари Ж. Ивенсон, А. Филловинлар ноанъанавий циклик қиздириб термик ишлов беришдаги фазали ўзгаришларнинг фундаментал қонуниятларини яратган, Канада олими Ж.Д. Эмбьюри пўлатларнинг хоссасини ошириш бўйича ноанъанавий термик ишлов бериш усулларини тавсия этган, Ҳиндистон тадқиқотчилари Ravi Kiran, Jalaj Kumar, Vikas Kumar кам углеродли пўлатларнинг циклик қиздириб термик ишлов бериш ёрдамида зарбий қовушқоқлигини ошириш технологиясини ишлаб чиқишган.

МДХ давлатлари тадқиқотчилари Н.Г. Александров, Е.Л. Милославская, Г.А. Ткаченко, М.И. Гольдштейн, С.С.Дьяченко, Т.И.Табатчиқова, В.И. Асташенко, Д.А. Жуков, В.Д. Садовский, Т.М. Пугачева томонидан пўлатларни турли ҳароратларда қиздиришдаги фазали ўзгаришлар, юқори ҳароратда термик ишлов берилганда ҳосил қилинган структураларнинг пўлатларнинг механик хоссасига таъсири аниқланган. Ўзбекистон тадқиқотчилари А.А.Мухамедов, Д.М.Бердиев, Ф.Р. Норхужаев, Б.К. Тилабов ва бошқалар пўлатларга ноанъанавий усулда циклик қиздириб термик ишлов бериш асосида механик хоссаларини ошириш технологияларини ва экстремал ҳароратда тоблаш ҳамда икки марта фазали қайта кристалланиш усули билан ейилишбардошлилигини ошириш усулини ишлаб чиқишган.

Пўлатларга циклик қиздириб термик ишлов беришда: дислокация зичлигини оширувчи ва у орқали ейилишга бардошлиликка таъсир қилувчи; қиздириш вақти, легирловчи элементларнинг таъсири ва қиздириш цикллари сони тўғрисида тадқиқотлар амалга оширилмаган. Шу билан бирга пўлатга циклик қиздириб термик ишлов беришда ейилишга бардошлилигига таъсир этиши мумкин бўлган дислокация зичлигини ошириш масалалари етарлича ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқоти диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқотлар режасининг 1/18 - сонли “Пўлат қотишмаларидан тайёрланган

машинасозлик деталларининг ейилишга бардошлигини ошириш” мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган (2018-2020 йй).

**Тадқиқотнинг мақсади** циклик қиздириб термик ишлов беришдаги фаза ва структура ўзгаришини таъминлаш асосида пўлатдан тайёрланган деталларнинг ейилишга бардошлилигини ошириш технологиясини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

пўлатларни дастлаб циклик қиздириб термик ишлов беришда ҳар бир қиздириш цикли учун сарф қилинган қиздириш вақтининг пўлат структурасига таъсирини ҳамда микро структура кўрсаткичларининг шаклланиш жараёнларини таҳлил қилиш;

дастлабки циклик қиздириб ишлов беришнинг пўлатнинг механик хоссаларига таъсирини ҳамда пўлат таркибидаги легирловчи элементларнинг қиздириш цикллари сонига ва вақтига боғлиқлик даражасини аниқлаш;

юқори частотали ток билан дастлаб циклик қиздириш ва тугалланган тоблаш ҳароратини доимий таъминловчи ток кучи ва кучланиш қийматларини аниқлаш;

тугалланган индукцион қиздириб тоблаш ва бўшатишдан кейин пўлатларнинг ейилишга бардошлилигига дастлабки циклик қиздириш ҳарорати ва вақтининг (фазали алмашиниш нуқтасидан пастда циклик қиздириш) таъсирини аниқлаш;

тадқиқот натижаларига асосланган ҳолда майда модулли шестерня тишларининг эксплуатация муддатини ошириш учун ноанъанавий циклик қиздириб термик ишлов беришнинг такомиллаштирилган технологиясини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида 65Г маркали пўлатдан тайёрлаган майда модулли шестерня олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** циклик қиздириб термик ишлов бериш орқали пўлатлар кристалл структурасида дислокация зичлигини ва уларни тоблаш учун қулай бўлган бошланғич структурани шакллантириш, дислокация зичлиги, тоблашга қулай бўлган структура пўлатдан тайёрланган деталларнинг ейилишга бардошлилигини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида қотишмалардаги кимёвий элементларнинг таркибий миқдорини ва қотишма структурасини ўрганишда аттестацияланган кимёвий усул ва спектрал Shimadzu русумидаги Рентгенографик анализатор, Metrohm 850 Professional IC русумидаги ионн хроматограф, (SEM-EDX) маркали Zeiss EVO MA 10/AztecEnergyAdvanced X-Act сканерловчи электрон микроскопларнинг таҳлилий усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

65Г маркали пўлатни дастлаб уч марта циклик қиздириб ишлов берилганда  $\alpha$ -фазанинг кристалларидаги дислокация зичлиги юқори даражада бўлиши ҳамда тўлиқ пластиналар структура ҳосил бўлиши аниқланган;

қиздириш цикллари сонига, ҳароратларига ва совитишга боғлиқ ҳолда 65Г маркали пўлатни дастлаб 450-500 °С ҳарорат оралиғида уч марта циклик

қиздириб ишлов бериш натижасида қаттиқлиги юқори даражада бўлиши, мустахамлик чегараси ўсиши, зарбий қовушқоқлик қийматини ўзгармаслиги ҳамда легирловчи элементларнинг қиздириш цикллари сонига ва вақтига сезиларли даражада таъсир кўрсатмаслиги аниқланган;

юқори частотали ток билан дастлаб циклик қиздириш ва тугалланган тоблаш ҳароратини доимий таъминловчи ток кучи ва кучланиш қийматлари аниқланган;

турли ҳароратларда циклик қиздириб термик ишлов берилганда, кристалл тузилишдаги энг юқори нуқсонлилик даражаси қиймати барча термик ишлов бериш ҳароратининг циклик қиздириш вақти 4-5 сония оралиғида бўлган ҳолатга тўғри келиши аниқланган

дастлабки циклик қиздириб-совитиш ва тугалланган индукцион қиздириб тоблашдан фойдаланиб майда модулли шестерня тишларининг эксплуатация муддатини 30-40% га ошириш имконини берувчи юқори частотали токда циклик қиздириб термик ишлов беришнинг такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

циклик қиздиришдан кейин индукцион тоблаш жараёнидан фойдаланган ҳолда бир-бири билан ишқаланиб ишловчи деталлар ишчи юзаларининг ейилишга бардошлилигини оширувчи циклик қиздириб термик ишлов бериш технологияси такомиллаштирилган;

майда модулли шестерня тишларининг эксплуатация муддатини оширувчи циклик қиздириб термик ишлов беришни юқори частотали токда индукцион қиздиришдан олдин дастлаб паст ҳароратда циклаб қиздириб совитиш тартиби ишлаб чиқилган;

тадқиқотнинг натижасида майда модулли шестерня тишларига циклик қиздириб термик ишлов бериш учун асосланган тавсиялар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқотнинг назарий натижалари ва хулосаларининг ишончлилиги олинган тадқиқот натижалари билан мутаносиб келиши, уларнинг умумий эътироф этилган илмий ғояларга мослиги, шунингдек пўлатдан тайёрланган деталларга термик ишлов бериш қонуниятларига мувофиқлиги, олинган натижаларнинг математик моделлаштириш асосида қайта ишлов берилиши билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти пўлатни паст ҳароратларда юқори частотали ток ёрдамида циклик қиздириш натижасида структуравий ўзгаришининг қонуниятлари ўрганиб чиқилди. Циклик қиздириш вақти ва цикллари сонининг таъсири натижасида пўлатларда дислокация зичлигининг ошиши аниқланди, бунда ушбу дислокациянинг термик барқарорлиги аниқланди. Дастлабки қайта қиздиришда мазкур термик барқарор дислокация  $\alpha - \gamma - \alpha$  фаза алмашилишидаги янги дислокацияни юзага келтирувчи манба эканлиги аниқланди. Циклик қиздириш натижасида пўлатлар структурасида пластинасимон структуранинг шаклланиши, бу шаклланган структура термик барқарор бўлиши аниқланди.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти майда модулли шестерня тишларининг, яъни деталнинг ўлчамларига, қиздириш вақтига ва ҳароратига



боғлиқ ҳолатда, майда модулли шестерня тишларининг ейилишга бардошлилигини таъминловчи, дастлаб циклик қиздириб, кейин индукцион усулда термик ишлов бериш технологиясини такомиллаштириш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Пўлат маҳсулотларининг ейилишга бардошлилигини циклик қиздириб термик ишлов бериш усулида ошириш технологиясини такомиллаштириш учун олиб борилган илмий тадқиқотлар бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ейилишга бардошлиликни ошириш учун кичик модулли майда шестерняларга термоциклик термик ишлов бериш технологияси «Агрегат заводи» АЖга жорий қилинган. («Ўзавтосаноат» АЖнинг 16.11.2020 йилдаги 09/06-25-1651-сон маълумотномаси). Натижа шестерня тишларининг ейилишга бардошлилигини 1,2-1,3 мартага ошириш имконини берган.

шестерняларга термик ишлов бериш учун тоблашда юқори частотали тоқлар билан термик ишлов бериш технологияси «Агрегат заводи» АЖга жорий қилинган. («Ўзавтосаноат» АЖнинг 16.11.2020 йилдаги 09/06-25-1651-сон маълумотномаси). Натижада электр энергиясининг сарфи 15-20% га камайган.

металл сарфини камайтириш учун кичик модулли майда шестерняларга термоциклик термик ишлов беришнинг янги тартиби «Агрегат заводи» АЖга жорий қилинган. («Ўзавтосаноат» АЖнинг 16.11.2020 йилдаги 09/06-25-1651-сон маълумотномаси). Термоциклик термик ишлов беришнинг мазкур режимларини қўлланилиши металл сарфини 12-15% га камайтириш имкони яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 6 та халқаро илмий-техник ва илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуи бўйича жами 15 та илмий иш чоп этилган: жумладан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, жумладан 3 та Республика, 6 та Хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўрта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг жаҳон миқёсида долзарблиги ва зарурлиги асосланган, тадқиқотларнинг мақсад ва вазифаси кўрсатилган, объекти ва предмети тасвирланган, республика илм-фан ва технологияларини ривожлантириш бўйича устувор йўналишларга мос келиши, илмий янгилиги ва тадқиқотнинг амалдаги натижалари кўрсатилган, эришилган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, тадқиқот натижаларининг жорий этилиши, тадқиқот материаллари бўйича эълонлар кўрсатилган, диссертациянинг тузилиши ва ҳажми бўйича маълумот берилган.

Диссертациянинг «Қотишмаларга циклик қиздириб термик ишлов бериш технологияси» деб номланган биринчи бобида циклик қиздириб термик ишлов бериш натижаларининг таҳлили ўрганилган, бу усулда пўлатларни термик ишлов бериш устувор йўналиши усулида бўлиши асосланган.

Термик ишлов бериш соҳасида сўнгги йилларда чоп этилган материалларнинг таҳлили пўлатларни циклик қиздириб ишлов беришдан фойдаланган ҳолда уларнинг структураси ва хоссаларини яхшилашда циклик қиздириб ишлов беришдан кенг фойдаланилаётганлиги маълум бўлди. Пўлатларни циклик қиздириб термик ишлов бериш тартиби асосида айрим механик хоссалари оширилади, натижа одатда қабул қилинган тартибдан фойдаланилгандан анча юқори самара берган. Мазкур ишнинг мавзуси нуқтайиназаридан циклик қиздириб термик ишлов беришдан кейин ейилишга бардошлиликнинг ортиши билан боғланадиган ишларга алоҳида эътибор қаратилган. Кимёвий таркибини ўзгартирмасдан пўлатли маҳсулотларнинг ейилишга бардошлилигини таъминлаш мумкинлик имкониятлари кўриб чиқилди.

Самарали натижага пўлатларнинг табиати ва уларда содир бўладиган структура ўзгаришларининг ўзига хос хусусиятларидан фойдаланиш ҳисобига физик-кимёвий жараёнларнинг шиддатини ошириш имконини берувчи усуллардан фойдаланилган.

Ишнинг тўлиқ таҳлили термик ишлов бериш соҳасида циклик қиздириб термик ишлов бериш хусусида эълон қилинган илмий ишлар шундан далолат берадики, қотишмаларнинг хоссаларини ошириш учун қиздириб термик ишлов бериш технологияларидан кенг фойдаланилмоқда. Бироқ, ноанъанавий циклик қиздириб термик ишлов бериш технологияларининг турли тартибларини қўллаш учун назарий далиллар етарли эмаслиги маълум бўлди.

Циклик қиздириб термик ишлов бериш усули аустенитнинг қайта кристалланиш жараёни ҳали тугамаган ва донанинг ўсиши ҳали содир бўлмаган вақтда бир неча марта тезлаштирилган қиздириш ва совитиш ҳисобига диффузион айланиш механизмини устуворлиги ортади, структура доналарининг майдаланиши ва дислокацияларнинг қайта тақсимланишини ҳамда юқори ҳароратда индукцион қайта қиздирилиши ҳисобига барқарор (турғун) аустенит ҳосил бўлади. Фаза ўзгаришларининг ҳосил бўлиш ҳисобига структуравий ўзгаришларнинг тўпланиши натижасида пўлатларга термик ишлов беришнинг одатдаги турлари билан эришиб бўлмайдиган структурани олиши имкониятини беради.

Хусусиятларга эришиш нуқтайи - назаридан циклик қиздириб термик ишлов беришнинг самарадорлиги циклик қиздириб термик ишлов бериш тартиби, циклларнинг сони, қиздириш ва совитиш тезлиги, шунингдек пўлатнинг кимёвий таркиби билан белгиланади. Циклик қиздириб термик ишлов бериш тартиблари асосида полиморф ўзгариш шароитларида ҳам, бундай ўзгаришлар содир бўлмаганда ҳам, пўлатни қиздириш ва совитишда фаза ўзгаришларининг қонуниятларига асосланиши кузатилди.

Кам легирланган пўлатларнинг ейилишга бардошлилигини кўшимча ошириш муаммосини ҳал этиш учун пўлатларни дастлаб циклик қиздириб

ишлов бериш билан улардаги структура шаклланишининг ўзига хослигини ўрганиш, циклик қиздириб ишлов беришдан сўнг индукцион қиздириб тобланган пўлатлар структурасининг кўрсаткичлари ва металлнинг металл билан тирналиб ишқаланишда ейилишга бардошлилик кўрсаткичининг миқдорий нисбатини аниқлаш, ейилишга бардошлиликни ошириш учун пўлатнинг мавжуд имкониятидан максимал фойдаланиш имконини берувчи дастлаб циклик қиздириб тугалланган индукцион термик ишлов бериш технологиясини такомиллаштириш талаб қилинади.

Сўнгги фикр пўлатдан тайёрланган деталларни ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш ва таннархини пасайтириш талабларига тўлиқ жавоб беради.

Диссертациянинг «**Пўлатларга термик ишлов бериш тадқиқотининг объектлари ва усуллари**» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот материалларини танлаш, термик ишлов бериш тартиби, таҳлил ва синаш усуллари келтирилган.

Тадқиқот объекти бўлиб, саноатда куйма ҳолатда олинган 40Х, 55С, 65Г, 60С2ХА маркали пўлат намуналари ҳисобланади. Асосий фойдаланувчи объект сифатида 65Г маркали пўлат танлаб олинган, қолган пўлатлар тадқиқотнинг қайсидир муаммоларини ечишда фойдаланилган. Эталон материал сифатида армко-темир намунасида фойдаланилди.

Тажрибалар юқори частотали токда қиздириб ўтказилди, бунда вақт бир неча сониядан 20 сониягача белгиланди, циклик қиздириш учун диаметри Ø20 мм, баландлиги 7 мм ўлчамдаги намуналар тайёрланди. Термик ишлов бериш учун қиздиришда ЛЗ107 маркали юқори частотали токда қиздирувчи қурилмадан фойдаланилди. Циклик қиздириб термик ишлов беришдаги ҳарорат - вақт тушунчасини баҳолаш учун махсус кўрсаткичларни тез аниқлайдиган термо паралардан фойдаланилди.

Намуналарни циклик қиздириш 450°, 550°, 700 °С ҳароратларда ўтказилиб, ҳавода совитилди. Такрорий фазали қайта кристалланиш доимий ҳар бир пўлат учун  $As_3 + 30 \div 50$  °С ҳароратгача қиздириш орқали амалга оширилди, бизнинг тадқиқотлар учун тугалланган қиздириш 900 °С ҳароратда мойда совитиб тоблаш, 180 °С ҳароратда қиздириб, ҳавода совитиш билан амалга оширилди.

Металлографик таҳлил Metrohm 850 Professional IC русумидаги ионн хроматограф, (SEM-EDX) маркали Zeiss EVO MA 10/AztecEnergyAdvanced X-Act сканерловчи электрон микроскопларда  $\times 100$  дан 1000 гача катталаштирилиб ўрганилди.

Майин структуранинг ҳолати рентгенографика ёрдамида аниқланди. Рентгенограммалар спектрал Shimadzu русумидаги Рентгенографик анализаторида худди ўша пўлатларнинг эталонларини қўллаган ҳолда олинди. Темир анодининг нурланишидан фойдаланилди. Рентген чизиқларининг физик кенлиги аппроксимация усулида тўғирланадиган графиклар ёрдамида аниқланди.

Намуналарнинг қаттиқлигини ТШ-2М ва ТК-2 қаттиқлик ўлчайдиган асбобларда аниқланди. Намуналарнинг зарбий қовушқоқлиги ГОСТ 9454-78 га биноан ва тавсияларга мувофиқ  $10 \times 10 \times 55$  ўлчамдаги стандарт намуналарда МК-15 маятникли копёр ёрдамида аниқланди.

Ейилишга бардошлиликни синаш пўлат намуналари маҳкамланмаган абразив материалларда ишқаланишида ва металлни металл билан ишқаланиши натижасидаги ейилишидан аниқланди.

Диссертациянинг «**Ейилишга бардошлиликни оширишнинг мезонлари ва циклик қиздириб ишлов бериш ҳароратининг пўлат структурасига таъсирини тадқиқот қилиш**» деб номланган учинчи бобида турли ҳароратларда циклик қиздирилгандан кейинги турлича совитишда – печда (юмшатиш) ва ҳавода совитиш, индукцион қиздириб тоблашдан кейин пўлатларда ҳосил бўладиган микро ва майин структурасининг тадқиқот материаллари берилган.

Мазкур қисмда пўлатларнинг ейилишга бардошлилигини оширишнинг мезонлари ва технологик тадбирлари кўрсатилган, пўлатларни анъанавий тарзда юмшатиш ҳароратида юмшатирилгандан кейинги ўзгаришлар, юқори частотали токда циклик қиздириб термик ишлов бериш тартибини такомиллаштириш усуллари, кучли карбид ҳосил қилувчи элементлар бўлмаган углерод миқдори 0,60% атрофида бўлган кам углеродли пўлатларга турли ҳароратларда циклик қиздириб ишлов бериш натижалари келтирилган.

Ўрганилган асосий маълумотлар шуни кўрсатдики, пўлатлар бошланғич структурасининг ейилишга бардошлиликка таъсирларидан бири пластиналар структуралар ҳосил қилиши маълум қилинган. Кўриш мумкинки, ейилишга бардошлиликни ошириш бўйича технологик тадбирлар ишқаланишда камроқ даражада трансформацияланадиган мустаҳкам бирламчи структураларни яратишга йўналтирилган.

Кўпгина ҳолларда намуналар анъанавий тартибда юмшатиш ҳароратида юмшатирилгандан кейин турли углерод миқдорига эга бўлган, фақат перлит миқдори билан фарқ қилувчи, тенг тақсимланган структурали пўлатлар олинган. Таҳлиллар шуни кўрсатадики, қиздирилган пўлатнинг ейилиш қиймати техник темир билан солиштирилганда, структурадаги перлит миқдорининг ортиши билан чизиқли қонун бўйича камаяди:  $\Delta Q = 7.3 - 0.047 \%п.$

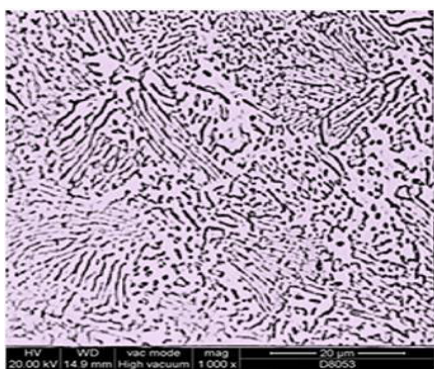
Пўлатларни юқори частотали ток ёрдамида қиздириш билан пўлатнинг исталган чуқурликкача бўлган қатламда товланиши, иш унумдорлиги ва термик ишлов берилган деталларнинг механик ва эксплуатацион хоссалари юқори бўлиши, деталл юзасида куйинди ҳосил бўлмаслиги ва исталган шаклдаги деталларнинг юза қисмини тоблаш имконини бериши термик ишлов беришда қўллаш мумкинлигига асос бўлади.

Циклик қиздириб ишлов беришнинг термик ишланишга қулай бўлган структурани ҳосил қилувчи тартиби танлаб олиниб, юқори частотали ток ёрдамида индукцион қиздириш усулида термик ишлов бериш таклиф этилди.

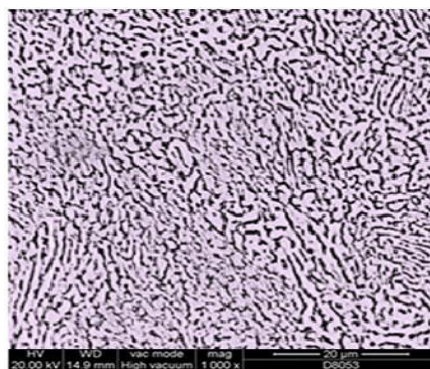
Қўлланилган пўлатларнинг диаметри  $\varnothing 20$  мм ва баландлиги 7 мм ўлчамдаги намуналари Л3107 маркали юқори частотали ток ёрдамида қиздириш қурилмасининг текис қизийдиган индукторда қиздириш амалга оширилди. Қиздириш вақти қуйидагича белгилаб олинди: 450 °С ҳароратгача - 5,5 сония; 550 °С ҳароратгача - 7 сония; 700 °С ҳароратгача - 11 сония; 800 °С ҳароратгача – 14 сония; 800 °С ҳароратгача - 17,5 сония.

Циклик қиздириб ишлов берилган пўлатларни тугалланган совитиш ҳаво узатиш воситасида совитилиши, дастлабки структуранинг пластинали структура ҳолатида шаклланишига кўмаклашади. 1-расмда 65Г маркали пўлатнинг 450 °С ҳароратда циклик қиздириб ишлов бериш натижасида тўлиқ пластинали структура шаклланганлигини кўриш мукин. Қолган циклик қиздириш ҳароратларида бундай тўлиқ шаклланган пластинали структура кузатилмади.

Критик ҳароратгача бўлган ҳароратлар оралиғида дастлаб циклик қиздириб ишлов беришдан кейин 65Г маркали пўлатнинг кристалл тузилишидаги нуқсонлилик даражаси цикллаш ҳарорати ва циклларнинг сонига кам боғлиқ бўлди (2-расм). Ас<sub>1</sub> критик ҳароратдан паст ҳароратда қиздириш ва тугалланган совитиш ҳаво ёрдамида амалга оширилганда структура ва кристалл тузилишидаги нуқсонлилик даражасида унчалик катта ўзгаришлар кузатилмади.



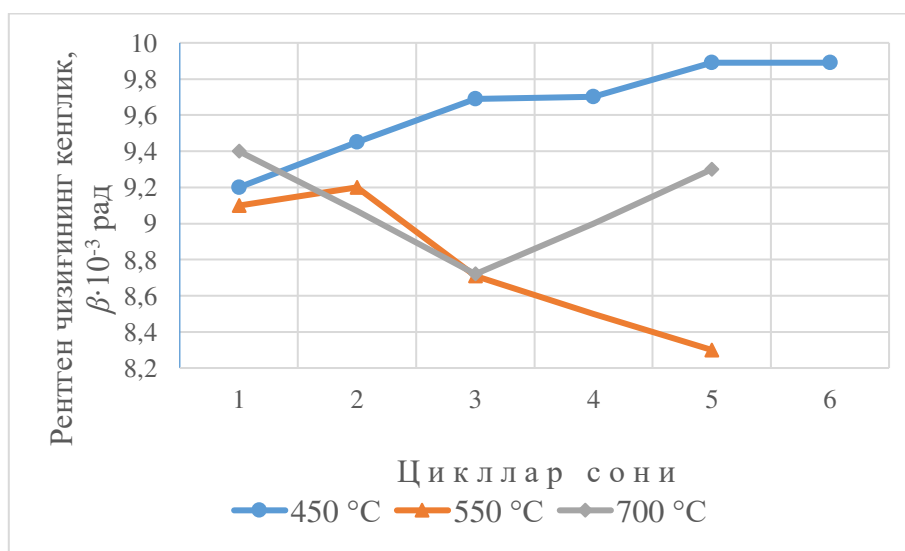
×1000  
а



×1000  
б

**1-расм. 65Г маркали пўлатнинг 450 °С ҳароратда циклик қиздирилган ва ҳаво билан совитилгандан кейинги микроструктураси.**

а – 3 - циклда қиздириш. Пластинали перлит; б – 5 - циклда қиздириш. Пластинали ва донали перлит аралашмаси



**2-расм. 65Г маркали пўлатни турли ҳароратларда циклик қиздириб ишлов беришнинг кристалл тузилишидаги нуқсонлилик даражасининг ўзгаришига таъсири**

Дастлаб турли ҳароратларда циклик қиздириб тугалланган индукцион термик ишлов берилган пўлат структурасининг ҳолати тадқиқот таҳлили шуни кўрсатадики, критик ҳароратгача бўлган ҳароратлар оралиғида циклик қиздириб термик ишлов беришдан кейин 65Г маркали пўлатнинг кристалл тузилишининг нуқсонлилик даражаси цикллар ҳарорати ва циклларнинг сонига кам миқдорда боғлиқ бўлади. Ас<sub>3</sub> критик ҳароратдан юқори ҳароратда индукцион қиздириш ва тугалланган совитиш ҳаво ёрдамида амалга оширилганда деярли ўзгаришсиз структура ва кристалл тузилишидаги нуқсонлилик даражаси нисбатан турли ҳолатда бўлиши аниқланди. Аниқ натижалар тугалланган индукцион қиздириб тоблаш ва паст ҳароратда қиздириб бўшатишда аниқланди (1-жадвал).

1-жадвал

65Г маркали пўлатни дастлаб циклик қиздириш, тугалланган индукцион тоблаш ва 180 °С ҳароратда бўшатишдан кейинги кристалл тузилишининг нуқсонлилик даражаси ўзгариши (рентген чизигининг физик кенглиги 220)

т/р	Циклар сони	Рентген чизигининг физик кенглиги $\beta \cdot 10^{-3}$ рад	Ўртача қиймат $\beta \cdot 10^{-3}$ рад	Қаттиқлик, HRC
450 °С ҳароратда қиздиришда				
1.	1 цикл	63,4; 64,45	66,42	59,5
3.	3 цикл	64,5; 71,68; 70,36	68,91	60
5.	5 цикл	73,9; 69,0; 69,5	70,8	59,5
550 °С ҳароратда қиздиришда				
1.	1 цикл	73,4; 63,9; 62,17	66,49	58,5
3.	3 цикл	67,57; 65,73; 64,98	66,09	59,5
4.	5 цикл	69,48	69,48	59
700 °С ҳароратда қиздиришда				
1.	1 цикл	71,69; 69,0	70,0	59,5
2.	3 цикл	63,66; 64,0	63,87	60
3.	5 цикл	63,0	63,0	59
800 °С ҳароратда қиздиришда				
1.	1 цикл	60,5	60,5	59
2.	3 цикл	63,9	63,9	59
3.	5 цикл	60,76; 62,99	61,87	59,5
4.	Дастлабки намунани тоблаш + бўшатиш 180°С	64,98	64,98	59,5

Аниқланган натижалар таҳлили шуни кўрсатдики, пўлатларни дастлаб 450 °С ҳароратда 3-5 маротаба циклда қиздиришни ўтказишда сезиларли афзалликларни кўриш мумкин. Дастлаб циклик қиздириб ишлов беришнинг бошқа ҳароратларида кристалл тузилишдаги нуқсонлилик даражаси паст ёки бу ҳодиса беқарор бўлиб чиққан (масалан, 550 ва 700 °С).

Олинган самарали натижаларни циклик қиздириш ёрдамида тезлик билан иссиқлик алмашилиши ҳисобига микропластик деформацияланиш учун шароит яратилганлиги билан тушунтириш мумкин. Иккинчи фазанинг ҳосил бўлиши натижасида термик ишлов бериш фазаларининг имкониятлари кенгайиши ҳисобига микропластик деформацияланишнинг ҳосил бўлишига кўмаклашади. Натижада, дислокация структурасининг ривожланиши содир бўлади, ҳароратнинг кўтарилиши эса полигонлашишга олиб келади. Полигонлашган структурада, гарчи кристалл тузилишнинг юқори нуқсонлилик даражасига эга бўлмасда, юқори иссиқликда барқарорликни таъминлайди.

Бир марталик полигонлашган структура айланиш нуқтасидан юқори ҳароратда қайта қиздириш дислокациялар зичлиги юқори бўлган структуранинг ҳосил бўлишини таъминлайди.

450°C ҳароратда дастлаб циклик қиздириб ишлов берилганда қайта кристалланиш шиддат билан содир бўлади, полигонлашган структура ҳосил бўлмайди.

Бироқ 450°C ҳарорат билан дастлаб циклик қиздириб, тугалланган индукцион тобланиш натижаларини, одатдаги индукцион қиздириб тобланишдаги натижаларга қиёсланганда, дислокация зичлигининг сезиларли даражада ортиши аниқланмади. Қаттиқлиги бир хил 59-60 HRC бўлганда рентген чизиғи физик кенглигининг фарқи  $5 \cdot 10^{-3}$  рад. бўлди.

Ейилишга бардошлиликка синовларнинг натижалари намуналарнинг микро ва майин структура тадқиқот натижалари билан мос келади. Намуналар дастлаб турли ҳароратда циклик қиздириб, индукцион қиздириб термик ишлов берилишидан бир хил микроструктура, бир хил донанинг ўлчами ва қаттиқлик ҳосил бўлди, фарқи кристалл панжаранинг нуқсонлилик даражасида бўлди. Ушбу фарқ ейилишга бардошлиликка синовларда таъсирини кўрсатади. Ейилишга бардошлиликка синовларнинг натижалари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

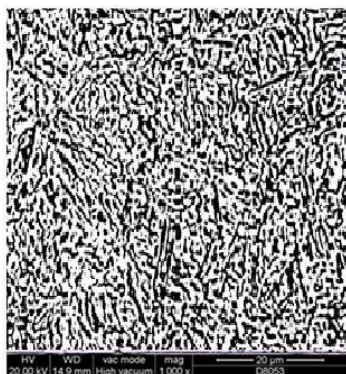
65Г маркали пўлатни турли ҳароратлар ва тартибларда термик ишлов бериш унинг ейилиш бардошлилигига таъсири

Термик ишлов беришнинг тури ва қиздириш ҳарорати, °C	Ейилиш, мг		Қаттиқлиги, HRC	Ейилишни юқориги ва пастки намуналарнинг йиғиндиси, мг	Ейилиш, % ҳис.
	Юқориги намуна	Пастки намуна			
900 °C ҳароратда индукцион тобланиш, 180 °C ҳароратда бўшатиш	59,07	29,06	53,5-60		
	65,0	28,86	53,5		
	61,53	28,78	58-69		
	58,36	27,34	59		
Ўртача арифметик қиймати	60,86	28,51	59	89,37	100

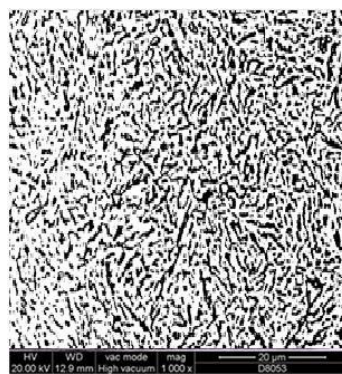
450 °C ҳарорат билан 3 та цикл, 900 °C ҳароратда индукцион тоблаш, 180 °C ҳароратда бўшатиш	46,09 49,30 40,02 38,0	22,14 23,09 24,49 24,01	59 59 58 59		
Ўртача арифметик қиймати	43,35	23,43	59	66,78	75
550°C ҳарорат билан 3 та цикл, 900 °C ҳароратда индукцион тоблаш, 180 °C ҳароратда бўшатиш	60,33 36,01 54,26 59,12	22,05 24,15 25,13 27,02	59 59 59 59		
Ўртача арифметик қиймати	57,55	24,58	59	82,14	92

2-жадвалда келтирилган маълумотлар таҳлили шуни кўрсатдики, 65Г маркали пўлатни дастлаб 450 °C ҳарорат оралиғида 3 мартаба циклик қиздириб, ҳавода совитиш, 900 °C ҳарорат оралиғида индукцион қиздириб тоблаш ва 180 °C ҳарорат оралиғида 60 дақиқа давомида қиздириб бўшатишда ҳосил бўлган ейилишга бардошлилик қиймати бошқа термик ишлов берилган турларга нисбатан 25 - 30 % юқори бўлиши аниқланди.

Пўлатларнинг структуравий таҳлили шуни кўрсатдики, дастлаб циклик қиздириб, индукцион термик ишлов беришнинг барча ҳолатларида юқори қаттиқликка эга бўлган мартенсит структура ҳосил бўлиши кузатилди (3-расм). Мартенсит пластиналарининг ўлчами тоблаш учун қиздирилган ҳароратга боғлиқ бўлиши маълум бўлди. Дастлаб циклик қиздиришнинг 450 °C ҳароратини аустенит донасини ва мартенсит пластинасини ўлчамига таъсир кузатилмаган. Аустенит донасининг ҳароратлар таъсирида ўзгариши тоблаш натижаларига катта таъсир кўрсатди.



3 - циклда қиздириш (×1000)



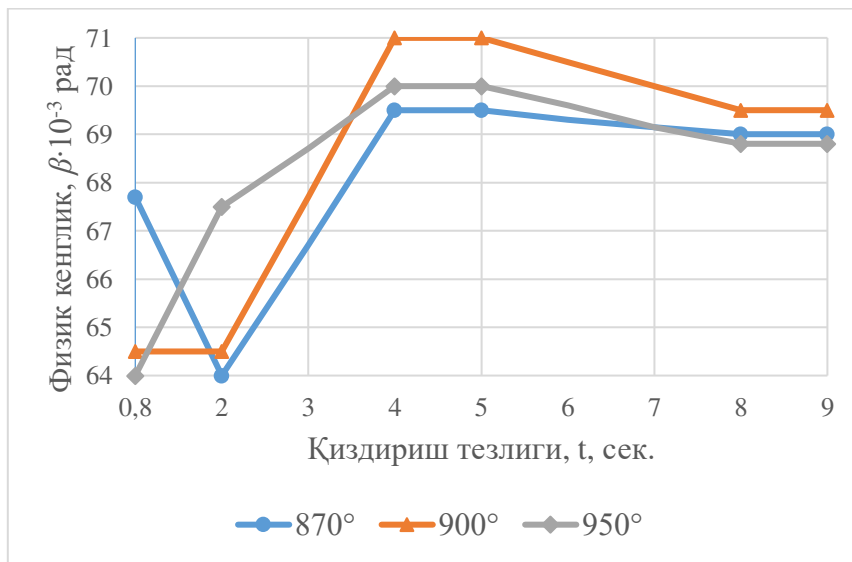
5 - циклда қиздириш, (×1000)

**3-расм. 65Г маркали пўлатни дастлаб 450 °C ҳароратда бир неча циклларда қиздириш, ҳаво билан совитиш, 900 °C ҳароратда тугалланган индукцион қиздириб тоблаш ва 180 °C ҳароратда қиздириб бўшатишдан кейинги микроструктураси**



Турли ҳароратларда индукцион қиздириб, термик ишлов берилган пўлат намуналарнинг рентгеноструктуравий таҳлиллари шуни кўрсатадики, пўлатнинг тоблашдан кейинги кристалл тузилишининг нуқсонлилик даражаси циклик қиздириш вақтига боғлиқ бўлар экан (4-расм).

4-расмда келтирилган маълумотлар таҳлил қилинганда, дастлаб циклик қиздирилиб, турли ҳароратларда термик ишлов берилганда, энг юқори кристалл тузилишининг нуқсонлилик даражаси қиймати барча термик ишлов бериш ҳароратининг циклик қиздириш вақти 4-5 сония бўлган ҳолатга тўғри келиши маълум бўлди, бу қиздирилаётган деталнинг каталигига қараб ўзгариши мумкин.



**4-расм. Пўлатлар кристалл тузилишининг нуқсонлилик даражаси қийматининг пўлатларни циклик қиздириб тоблаш вақтига боғлиқлик натижалари**

Диссертациянинг «Циклик қиздириб индукцион термик ишлов берилган пўлатларнинг механик хоссаларини тадқиқот қилиш ва уларни ейилишга бардошлиликка ҳамда эксплуатацион шароитда синаш» деб номланган тўртинчи бобда циклик қиздириб термик ишлов беришнинг тобланувчан структурасини ҳосил қилиш тартиби асосида юқори углеродли пўлатларнинг механик, ейилишга бардошлилик хоссаларига таъсирини ўрганиш, танланган технологиянинг эксплуатация шароитидаги синов натижалари таҳлили келтирилган.

Тобланган ва паст ҳароратда қиздириб бўшатишган 65Г маркали пўлатни дастлаб циклик қиздириб, тугалланган тоблашдаги механик хоссасининг ўзгаришини ўрганиш учун ўтказилган тадқиқотлар дастлаб циклик қиздириб, кейин индукцион қиздириб, тобланган намуналарнинг мустаҳкамлик чегараси қиймати, анъанавий усулда индукцион қиздириб, тобланган намуналарнинг мустаҳкамлик чегараси қийматидан анча катта бўлиши маълум бўлди, бунинг қиймати фарқи 10% гача бўлиши кузатилди. Мустаҳкамлик чегараси қиймати ошишига зарбий қовушқоқлик қийматини камайтирмасдан эришиш мумкинлиги аниқланди.

Тадқиқот натижаларини қиёслаш учун «Агрегат заводи» АЖ шароитида нитроцементацияланган ва термик ишлов берилган 18ХГТ маркали пўлатдан тайёрланган намуналардан фойдаланилди.

Қаттиқликни ўлчаш натижалари намуналарнинг ўлчов жойига қараб ҳар хил қийматда бўлганлигини кўрсатган: намуна майдонининг ўрта қисмларида 60 HRC қаттиқликка, намунанинг чеккасида 54 HRC дан 60 HRC гача бўлган нотекис қаттиқликка эга бўлди. Шу боис намуналарнинг бир қисмини 53-54 HRC ва 55-56 HRC бир текис бир хил қаттиқликкача қўшимча бўшатишга қарор қилинган. Бундай ишов бериш бир хилда қаттиқлик ҳосил қилингандаги ейилишга бардошлиликка баҳо бериш имконини беради, масалан майда модулли шестерня чизмасида келтирилган талабларга ҳам мос келади.

Натижаларни қиёслаш учун 65Г маркали пўлатдан тайёрланган майда модулли шестерня тишлари қуйидаги термик ишлов бериш тартибидан ўтказилди:

1. 400-500°С ҳарорат оралиғида циклик қиздириш, 80-100°С ҳароратгача ҳавони пуфлаб совитиш билан амалга оширилди. Анод кучланиши 6,5 кВ, анод токи 5,5 А, токнинг қиймати 0,55 А бўлганда 450°С ҳароратгача қизиш кузатилди, қизиш тезлиги – 3-4 сония. Ҳаво билан пуфлаш воситасида 80-100°С ҳароратгача совитиш вақти - 2 дақиқа 20 сонияга тенг бўлди, циклар сони 3 маротабага тенг.

2. Циклик қиздириб ишлов берилгандан кейинги индукцион тоблаш тартиби: анод кучланиши 9 кВ, анод токи 8,5 А, токнинг қиймати 0,8-1,8 А бўлганда 900 °С қизиш кузатилди, қизиш тезлиги – 7 сония, совитиш муҳити – мойда.

3. 180-200 °С ҳарорат оралиғида 60 дақиқа давомида селитрани ваннада қиздириб, ҳавода бўшатиш.

Термик ишлов беришнинг бу тартиби натижасида 65Г маркали пўлатдан тайёрланган шестерня тишлари структурасида аустенит донасининг ўртача диаметри  $d_{\text{ўрт}} = 0,055$  тенг бўлди, бу 5-6 баллга тўғри келади, тишнинг чўққиси эса  $d_{\text{ўрт}} = 0,0927 - 0,0729$  мм тенг бўлган, ГОСТ бўйича бу 4-5 баллга тўғри келади, шестерня тишларининг юза қисмларининг юпқа қатламида тобланган мартенсит структурали қопламалар ҳосил қилинди.

Тадқиқот натижаларининг қиёсий таҳлили майда модулли шестерня 65Г маркали пўлатдан тайёрланиб, дастлаб циклик қиздириб термик ишлов берилган шестерня тишларининг ейилишга бардошлилиги аъъанавий тарзда индукцион қиздириб тобланган шестерняникига нисбатан 1,3÷1,4 маротаба, нитроцементацияланган 18ХГТ маркали пўлатнинг ейилишга бардошлилигига нисбатан 1,2÷1,3 маротабага юқори бўлиши аниқланди.

Шундай қилиб, пўлатдан тайёрланган деталларни дастлаб циклик қиздириб, кейин индукцион қиздириб тоблашда юқори даражадаги хоссаларни таъминлаши технологик томондан қулай бўлганлиги учун ишлаб чиқаришга тавсия қилиш мумкин.

Тадқиқот натижаларининг амалда жорий қилиниши майда модулли шестерня тишларини дастлаб 3 маротаба паст ҳароратда циклик қиздириб ҳавода

совитиш, тугалланган индукцион тоблаш ва паст ҳароратда бўшатиш тартиби ишлаб чиқаришга жорий этилди, бу деталларнинг ейилишга бардошлилигини 1,3-1,4 баробарга оширди. Ушбу натижалар «Агрегат заводи» акционерлик жамияти корхонасига жорий этилди.

## ХУЛОСА

1. 65Г маркали пўлатни дастлаб 450-500°C ҳарорат оралиғида уч маротаба циклик қиздириб, ҳавода совитиш натижасида  $\alpha$ -фазанинг кристалларидаги дислокация зичлиги юқори даражада бўлиши аниқланган. Бу 65Г маркали пўлатнинг эксплуатацион хоссаларининг юқори даражага ошишига хизмат қилади.

2. 65Г маркали пўлатни дастлаб 450-500°C ҳарорат оралиғида уч маротаба циклик қиздириб, ишлов бериш натижасида тўлиқ пластинали структура ҳосил бўлиши аниқланган. Пластинали структура пўлатлар механик хоссаларининг ошишига хизмат қилади.

3. 65Г маркали пўлатни дастлаб 450-500°C ҳарорат оралиғида уч маротаба циклик қиздириб, ишлов бериш пўлатнинг механик хоссасига юқори даражада таъсир кўрсатиши аниқланган. Натижада пўлатнинг қаттиқлиги юқори даражада бўлишига, мустаҳкамлик чегарасининг 10% гача ўсишига, зарбий қовушқоқлик қийматини ўзгармасдан сақлаб қолиш имконини берди.

4. Юқори частотали ток билан 450 °C ҳароратгача циклик қиздириш учун  $U = 6,5$  кВ.,  $I = 0,55$  А, 900 °C ҳарорат қиздириб тоблашнинг  $U = 9$  кВ.,  $I = 0,8-1,8$  А ток кучида таъминланиши аниқланган. Олинган натижалар тоблашнинг индукцион қиздириш ҳароратини тўғри белгилашга хизмат қилади.

5. «Агрегат заводи» АЖ учун қишлоқ хўжалиги техникаларида қўлланиладиган металлни металл билан ишқаланиш шароитларида ишлайдиган майда деталлар учун дастлаб циклик қиздириб, термик ишлов бериш тартиби ишлаб чиқилган. Натижада электр энергиясининг сарфи 15-20% га камайишига эришилди.

6. 65Г маркали пўлатнинг кристалл тузилишдаги энг юқори нуқсонлилик даражаси қиймати 450°C ҳароратнинг циклик қиздириш вақти 4-5 сония оралиғида бўлган ҳолатга тўғри келиши аниқланган. Натижа пухталаш технологик жараёнини 2-2,5 соатгача қисқартириш ҳамда ейилишга бардошлилигини 1,2-1,3 мартагача ошириш имконини берди.

7. «Агрегат заводи» АЖ учун қишлоқ хўжалиги техникаларида қўлланиладиган металлни металл билан ишқаланиш шароитларида ишлайдиган майда деталлар учун дастлаб циклик қиздириб, термик ишлов беришнинг такомиллаштирилган тартиби ишлаб чиқилган. Натижада майда модулли шестерня тишларининг эксплуатация муддатини 30-40% га ошириш имкони яратилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/03.12.2019.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ЮСУПОВ АБДУЛАЗИЗ АБДУЛЛАЖАНОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ  
ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**05.02.01. – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.  
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Metallургия  
чёрных, цветных и редких металлов. Технология редких, редких и  
радиоактивных элементов (Литейное производство и обработка металлов)**

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

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.4.PhD/T1432.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.  
Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб – странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно – образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** Бердиев Дороб Муротович  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:** Норхуджаев Файзулла Рамазанович  
доктор технических наук, профессор

Рискулов Алимжон Ахмаджанович  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** Навоийский государственный горный институт


Защита диссертации состоит «18» июня 2021 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 Ташкентского государственного технического университета (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2.Тел./факс: (99871)227- 10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

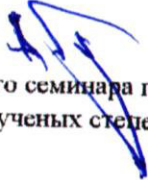
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 209) (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2.Тел./факс: (99871)227-10-32)

Автореферат диссертации разослан «5» июня 2021 года  
(реестр протокола рассылки №123 от «5» июня 2021года )



  
**К.А. Каримов**  
Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

  
**Ш.Б. Ташбулатов**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор философии по техническим наукам. (PhD)

  
**Ф.С.Абдуллаев**  
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** На сегодняшний день в машиностроении в мировом масштабе при производстве и поставке запасных частей для сельскохозяйственной техники одной из важных задач является увеличение срока их службы. Повышение износостойкости стальных изделий связано с использованием технологии циклической обработки и с обеспечением изменения плотности дислокаций, влияющих на устойчивость к трению основных рабочих поверхностей. В связи с этим важно разработать энергосберегающую и циклическую термообработку стальных деталей на основе изменения при этом частоты тока, что обеспечивает экономию энергии и ресурсов.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы по улучшению свойств стали при нагреве путем термической обработки посредством фазовых превращений. В то же время все большее значение приобретает разработка энергосберегающих технологий, основанных на замене электроэнергии, используемой в процессах термообработки, нетрадиционными методами. В связи с этим одной из актуальных задач является совершенствование методов и технологий термообработки на основе обеспечения фазовых и структурных изменений для повышения коррозионной стойкости и срока службы деталей с применением токов высокой частоты без добавления легирующих элементов.

В республике ведутся широкомасштабные работы по повышению механических свойств и устойчивости деталей машиностроения, повышению их износостойкости с помощью термической обработки, по сокращению расхода металла путем совершенствования технологий циклической термообработки. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан за 2017 - 2021 годы намечена задача: «... освоение принципиально новых видов продукции и технологий...». С этой точки зрения, важно совершенствовать ресурсо- и энергосберегающие методы и технологии термообработки, основанные на обеспечении фазовых и структурных изменений.

Настоящее диссертационное исследование в определенной мере служит для реализации задач, намеченных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан ПП-3117 от 7 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы машиностроения в сельскохозяйственной отрасли», ПП-3459 от 4 января 2018 года «О дополнительных мерах по дальнейшему повышению уровня технической оснастки сельскохозяйственной отрасли» и ПП-3712 от 10 мая 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию механизмов по своевременному обеспечению сельскохозяйственной отрасли сельскохозяйственной техникой» и в других нормативно-юридических документах, относящихся к данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Настоящее исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий в республике II. «Энергетика, энергосбережение и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Ведущими учеными мира, в частности, американскими исследователями В.Ф. Закеем, Е.Р. Паркером, Ф.Б. Пикерингом установлено, что при циклическом нагреве сталей в высоких температурах фазовые превращения влияют на их свойства. Английские исследователи Ж. Ивенсон и А. Филловин открыли фундаментальные закономерности фазовых превращений при нетрадиционной циклической термообработке. Канадский ученый Ж.Д. Эмбьюри для повышения свойств сталей предложил способы нетрадиционной термической обработки. Индийские исследователи Ravi Kiran U., Jalaj Kumar, Vikas Kumar разработали технологию повышения ударной вязкости малоуглеродистых сталей.

Ученые из стран СНГ Н.Г.Александров, Е.Л.Милославская, Г.А.Ткаченко, М.И.Гольдштейн, С.С.Дьяченко, Т.И.Табатчикова, В.И.Асташенко, Д.А.Жуков, В.Д.Садовский, Т. Пугачева определили фазовые превращения при нагреве сталей при разных температурах, влияние структур, образующихся при термообработке при высоких температурах, на механические свойства сталей. Узбекские ученые А.А.Мухамедов, Д.М.Бердиев и другие разработали технологии по повышению механических свойств сталей на основе нетрадиционной циклической термообработки и способ нетрадиционной термообработки, обеспечивающий высокую износостойкость путем закалки в экстремальных условиях и двойной фазовой перекристаллизации.

При термической обработке сталей путем циклического нагрева увеличивается плотность дислокаций и это влияет на устойчивость к коррозии; исследования по времени нагрева, влиянию легирующих элементов и количеству циклов нагрева не проводились. Однако вопросы увеличения плотности дислокаций, которые могут повлиять на коррозионную стойкость при циклическом нагреве стали, изучены недостаточно.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.** Исследование диссертации выполнено в рамках экономического плана научно-исследовательского плана Ташкентского государственного технического университета № 1/18 «Повышение коррозионной стойкости деталей машин из стальных сплавов» (2018-2020 гг.).

**Целью исследования** является совершенствование технологии повышения коррозионной стойкости стальных деталей на основе обеспечения фазовых и структурных изменений при циклическом нагреве.

**Задачи исследования:**

анализ влияния времени нагрева, затрачиваемого на каждый цикл нагрева, на структуру стали и процессы формирования микроструктурных параметров при термообработке сталей первоначальным циклическим нагревом;

определение влияния начальной циклической термообработки на механические свойства стали и степень зависимости легирующих элементов в составе стали от количества и времени циклов нагрева;

определение значения силы тока и напряжения, обеспечивающие постоянную температуру начального циклического нагрева и конечного отжига током высокой частоты;



определение влияние начальной температуры и времени циклического нагрева (циклический нагрев ниже точки фазового обмена) на коррозионную стойкость сталей после завершения индукционного нагрева и разряда;

на основе результатов исследований разработать усовершенствованную технологию нетрадиционной циклической термической термообработки для увеличения срока службы зубьев мало модульных шестерен.

**Объектом исследования** выбрана мелко модульная шестерня, изготовленная из стали 65Г.

**Предметом исследования** является формирование плотности дислокаций в кристаллической структуре сталей путем циклического нагрева и термообработки; формирование исходной структуры, пригодной для их упрочнения, плотности дислокаций, коррозионной стойкости деталей конструкционных сталей.

**Методы исследования.** В процессе исследования были применены аттестованный химический метод и рентгенографический анализатор марки Shimadzu для изучения состава химических элементов в сплавах и структуры сплава, ионный хроматограф марки Metrohm 850 Professional IC, аналитические методы сканирующего электронного микроскопа Zeiss EVO MA 10/AztecEnergyAdvanced X-Act марки (SEM-EDX).

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определено, если сталь марки 65Г предварительно циклично нагреть трижды, затем подвергнуть обработке, то, плотность дислокаций в кристаллах  $\alpha$ -фазы будет высокой и сформируется полная пластинчатая структура;

определено, что сталь марки 65Г, предварительно нагретая трижды циклически до температуры 450-500 °С, затем обработанная, приобретает высокую степень твердости, увеличивается предел долговечности, степень ударной вязкости не изменяется, а также не зависит от количества циклов и времени нагрева и охлаждения легирующих элементов;

определены значения силы тока высокой частоты и напряжения, обеспечивающие предварительный циклический нагрев и постоянную температуру отжига;

определено, что при циклическом нагреве, при различных температурах значение максимальной степени дефекта кристаллической структуры зависит от общей температуры термообработки соответствующей времени циклического нагрева 4-5 секунд;

разработана улучшенная технология высокочастотной циклической термообработки, позволяющая увеличить срок службы мало модульных зубьев шестерни на 30-40% за счет начального циклического нагрева и охлаждения и заключительного индукционного нагрева.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

усовершенствована технология по термической обработке, которая позволяет повысить износостойкость деталей рабочих частей, работающих в условиях трения металла на металл с использованием предварительного циклического нагрева и затем импульсной закалки;

разработана процедура циклического нагрева и охлаждения при низких температурах перед индукционным нагревом током высокой частоты с циклическим нагревом, что увеличивает срок службы зубцов маломодульных шестерен;

в результате исследования разработаны рекомендации, основанные на циклической термической термообработке зубцов маломодульной шестерни.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность теоретических результатов и выводов исследования основывается на состоятельности полученных результатов исследований, их соответствии общепринятым научным представлениям, а также соблюдении законов термической обработки стальных деталей, обработки результатов на основании математического моделирования.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научным значением результатов исследования является изучение закономерностей структурных преобразований в результате циклического нагрева сталей посредством высокочастотного тока при низких температурах. При этом наблюдался рост повышения плотности дислокации в сталях в зависимости от количества и продолжительности циклов, установлена термическая устойчивость данной дислокации. Установлено, что при предварительном повторном нагреве эта термически устойчивая дислокация служит источником, образующим новую дислокацию при  $\alpha - \gamma - \alpha$  переходе. Установлено, что в результате циклического нагрева формируется пластинчатая структура в структуре сталей и это структура является термически устойчивой.

Практическое значение результатов исследования объясняется усовершенствованием технологии, позволяющей обеспечить максимальную износостойкость зубцов мелкомодульных шестерен с помощью предварительного циклического нагрева и затем индукционной термообработки, в зависимости от размеров деталей, продолжительности и температуры нагрева.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов исследования по совершенствованию технологии повышения износостойкости стальных изделий методом циклической термической обработки:

для повышения износостойкости зубцов мелкомодульных шестерен в АО «Агрегатный завод» внедрена технология циклической термообработки (справка 09/06-25-1651 АО «Узавтосаноат» от 16.11.2020). Применение данной технологии на практике позволило повысить износостойкость зубцов шестерен в 1,2-1,3 раз.

в АО «Агрегатный завод» внедрена технология термообработки током высокой частоты для термообработки шестерен из стали марки 65Г (справка 09/06-25-1651 АО «Узавтосаноат» от 16.11.2020). В результате расход электроэнергии сократился на 15-20%.

для снижения расхода металла в АО «Агрегатный завод» внедрен новый порядок циклической термообработки зубцов мелкомодульных шестерен (справка 09/06-25-1651 АО «Узавтосаноат» от 16.11.2020). Применение этих режимов циклической термообработки позволило снизить расход металла на 12-15%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования апробированы на 6 международных научно-технических и научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 15 научных работ. Из них в научных изданиях 9 статей, в том числе 3 статьи в Республиканских и 6 статей в Международных журналах, рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) ВАК Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В введении** обоснована актуальность и востребованность проведенных исследований, указаны цель и задачи, объект и предмет исследования, соответствие приоритетным направлениям и развития науки и технологий в республике, указаны научная новизна и практические результаты исследования, освещены теоретические и практические значения достигнутых результатов, приведены сведения по внедрению результатов исследования и публикации материалов исследования, по структуре и объему диссертации.

В первой главе диссертации, названной «**Технология циклической термообработки сплавов**», проведен анализ результатов циклической термообработки; обосновано, что данный способ является приоритетным при термической обработке сталей.

Анализ опубликованных материалов за последние годы в сфере термической обработки показывает, что в настоящее время для улучшения структуры и свойств сталей широко используется циклическая термообработка. На основе циклической термообработки сталей улучшаются их некоторые механические свойства, полученный результат является достаточно эффективным в сравнении с обычной технологией термообработки. В настоящей работе уделено особое внимание повышению износостойкости сталей после циклической термообработки. Рассмотрены возможности обеспечения износостойкости стальных деталей, без изменения их химического состава.

Эффективный результат достигнут при применении способов, повышающих интенсивность многих физических и химических процессов за счет использования особенностей внутренних структурных преобразований и природы сталей.

Детальный анализ опубликованных научных работ по циклической термической обработке показывает, что данная технология широко применяется для улучшения свойств сплавов. Однако, несмотря на очевидные успехи в данной области, видна неадекватность в разработке теоретических основ для применения технологий нетрадиционной циклической термообработки.

При применении способа циклической термообработки повышается интенсивность механизма диффузионного превращения за счет повторного

ускоренного нагрева и охлаждения в стадии незаконченной перекристаллизации аустенита и еще не сформированного роста зерен. Целью данного способа является получение устойчивого аустенита за счет размельчения структурных зерен и перераспределения дислокаций с помощью индукционного нагрева в высоких температурах. В результате накопления структурных преобразований, за счет фазовых превращений появилась возможность получить структуру, которую нельзя образовать обычными способами термообработки сталей.

С точки зрения улучшения свойств, эффективность циклической термообработки определяется её порядком, количеством циклов, скоростью нагрева и охлаждения, также химическим составом стали. При циклической термообработке, в условиях полиморфных превращений, и в условиях отсутствия таких превращений установлено, что при нагреве и охлаждении сталей действуют закономерности фазовых превращений.

Для решения проблемы дополнительного повышения износостойкости низколегированных сталей требуется совершенствовать технологию термообработки сталей путем изучения особенностей их структуры. В том числе после определения структурных показателей и количественного соотношения показателя износостойкости сталей в условиях трения металла на металл после предварительной циклической термообработки, использования способа предварительного циклического нагрева и затем законченной индукционной термообработки, способствующей максимальному использованию природы стали для повышения его износостойкости.

Последнее полностью отвечает требованиям локализации производства стальной продукции и снижения себестоимости стальных деталей.

Во второй главе диссертации, названной **«Термическая обработка сталей, объекты и методы исследования»**, приведены методы выбора материалов для исследования, порядок термической обработки, методы испытания образцов и анализ результатов.

Объектом исследования являются образцы сталей марки 40Х, 55С, 65Г, 60С2ХА, полученные в промышленности путем литья. В качестве основного исследовательского объекта выбрана сталь 65Г, а остальные стали использованы для решения других проблем исследования. В качестве эталонного материала использован образец армко-железа.

Опыты были проведены при нагреве высокочастотным током, для циклического нагрева были изготовлены образцы диаметром Ø20 мм и высотой 7 мм, продолжительность нагрева была установлена от нескольких до 20 сек. Для нагрева при термической обработке было использовано устройство ЛЗ107, которое работает при высокочастотных токах. Для оценки показателей температура-время при циклической термообработке были использованы термодатчики, которые дают возможность быстрого определения этих показателей.

Циклический нагрев образцов проводился при температурах 450°, 550°, 700°С, после чего образцы были охлаждены с подачей охлаждающего воздуха. Повторная фазовая перекристаллизация для каждой стали была получена посредством нагрева до температуры  $A_{c3} + 30 \div 50^\circ\text{C}$ , в наших исследованиях законченный нагрев проводился при температуре 900 °С с последующим

охлаждением в масле и с нагревом при температуре 180°C с последующим охлаждением с подачей воздуха.

Металлографический анализ был проведен на ионным хроматографе Metrohm 850 Professional IC (SEM-EDX), а также на растровых электронных микроскопах Zeiss EVO MA 10 / AztecEnergyAdvanced X-Act с увеличением 100 × 1000 раз.

Состояние мягкой структуры было изучено с помощью рентгенографика. Рентгенограммы получены на спектральном рентгеновском анализаторе Shimadzu с использованием тех же стальных стандартов. Использовалось излучение железного анода. Физическая ширина рентгеновских линий определялась по графикам, скорректированным аппроксимационным методом.

Твердость образцов была определена с помощью твердомера ТШ-2М и ТК-2. Ударная вязкость образцов была определена на стандартных образцах размером 10×10×55 мм в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9454-78.

Испытания на износостойкость проводились путем определения износа при трении образцов стали на не прикрепленный абразивный материал и при трении металла о металл.

В третьей главе диссертации, названной **«Критерии повышения износостойкости и исследование влияния температуры циклической термообработки на структуру стали»**, приведены исследовательские материалы по микроструктуре и мягкой структуре сталей, образованных при индукционной термообработке после циклического нагрева в различных температурах и охлаждения в печи (отпускание) и на воздухе.

В этом разделе указаны технологические меры и критерии повышения износостойкости сталей, результаты изменений структуры сталей при температуре традиционного отпуска, способы совершенствования технологии циклической термообработки с помощью высокочастотного тока, результаты циклической термообработки при различных температурах малоуглеродистых сталей с содержанием углерода порядка 0,60% и не содержащих сильные карбидобразующие элементы.

Как показывают проведенные исследования, на износостойкость первичной структуры сталей оказывает влияние преимущественно пластинчатые структуры. При этом технологические меры, направленные на повышение износостойкости, были нацелены на создание первичных структур, которые мало трансформируются при трении.

В большинстве случаев после традиционного отпуска образцов при температуре отпуска были получены стали с равномерным распределением структуры, содержащие разное количество углерода и отличающиеся только содержанием перлита. Как показывает анализ, значение износа нагретой стали при сравнении с техническим железом уменьшается по линейному закону с увеличением перлитного составляющего в структуре:  $\Delta Q = 7.3 - 0.047\%$ .

Закалка металла до ожидаемой глубины посредством нагрева стали с помощью высокочастотного тока, высокая производительность и высокие механические свойства полученной продукции, не появление окалина на поверхности изделия и возможность закалки поверхности изделия любой формы

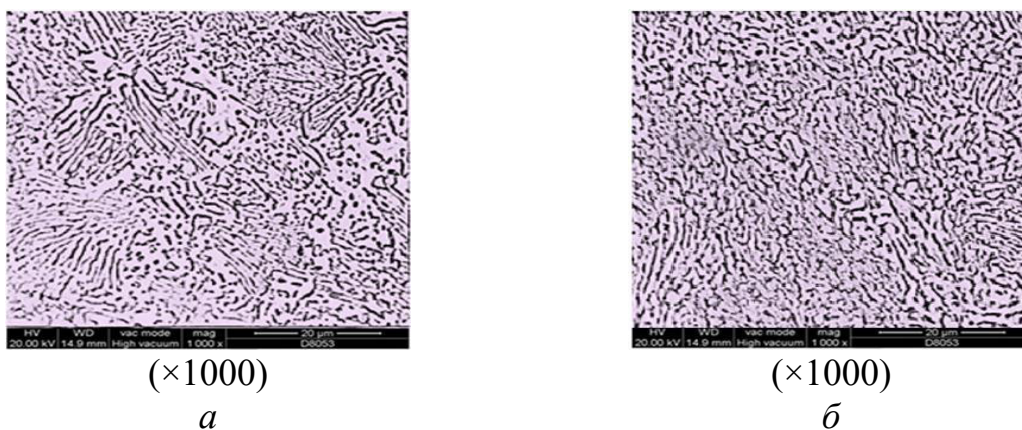
являются основанием для применения циклической термообработки при термообработке сталей.

Предложена технология термообработки индукционным нагревом с помощью высокочастотного тока, в результате чего получается структура, удобная для дальнейшей обработки.

Образцы сталей с диаметром  $\varnothing 20$  мм и высотой 7 мм были нагреты с помощью тока в нагревательном устройстве марки ЛЗ107, индуктор равномерно нагревал образец. Продолжительность нагрева была установлена в следующем порядке: до температуры  $450^{\circ}\text{C}$  - 5,5 секунд; до температуры  $550^{\circ}\text{C}$  - 7 секунд; до температуры  $700^{\circ}\text{C}$  - 11 секунд; до температуры  $800^{\circ}\text{C}$  - 14 секунд; при температуре  $800^{\circ}\text{C}$  - 17,5 секунд.

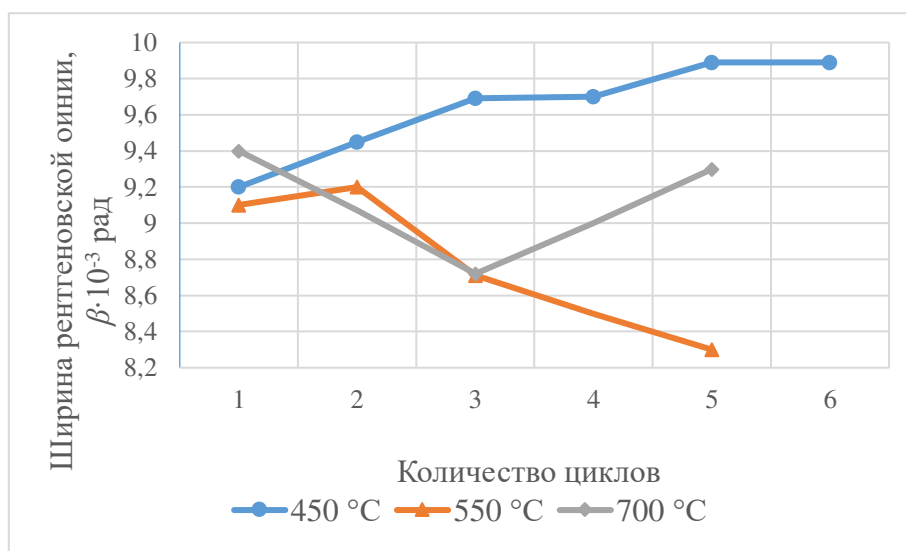
Законченное охлаждение циклически термообработанных сталей посредством подачи охлаждающего воздуха способствует формированию первоначальной структуры в виде пластинчатой. На рис.1 можно увидеть, как сформировалась полная пластинчатая структура в результате циклического нагрева стали 65Г при температуре  $450^{\circ}\text{C}$ . В режимах остальных температур нагрева такая полностью сформированная структура не наблюдалась.

Как показывают анализы состояния структуры предварительно термически обработанной стали с помощью законченного индукционного нагрева при различных температурах, после предварительной циклической термообработки стали 65Г в пределах докритической температуры уровень дефектности кристалльного строения стали мало зависит от температуры и количества циклов. Установлено, что при нагреве в зоне выше  $A_{c1}$  критической температуры и при охлаждении с помощью подачи охлаждающего воздуха формировалась структура с небольшими изменениями, а уровень дефектности кристалльного строения оказался в сравнении различным. Точные результаты были наблюдаемы после законченной закалки индукционным нагревом и отпущения при низких температурах (табл. 1).



**Рис. 1. Микроструктура стали марки 65Г после циклического нагрева при температуре  $450^{\circ}\text{C}$  и охлаждения с помощью воздуха**

*a* – 3 - нагрев в цикле. Пластинчатый перлит; *б* – 5 - нагрев в цикле. Смесью пластинчатого и гранулированного перлита



**Рис. 2. Влияние циклической термообработки стали 65Г при различных температурах на изменение уровня дефектности кристаллической структуры**

Анализ полученных результатов показывает, что предварительный 3-5 циклов нагрев сталей при температуре 450 °C имеет ряд преимуществ. При других температурах (например, при температуре 550 и 700 °C) предварительной циклической термообработки уровень дефектности кристалльного строения оказался низким или он становился неустойчивым.

Полученные эффективные результаты можно объяснить тем, что создаются условия для микропластической деформации за счет быстрого теплообмена с использованием циклического нагрева. Образование второй фазы способствует образованию микропластической деформации за счет расширения возможностей фаз термообработки. В результате происходит развитие дислокационной структуры, а повышение температуры приводит к полигонизации. В полигонизированной структуре он обеспечивает стабильность при высоких температурах, хотя кристаллическая структура не имеет высокой степени дефектности.

Таблица 1

Изменение уровня дефектности кристалльного строения стали 65Г после предварительного циклического нагрева, закалки законченным индукционным нагревом и отпущения при температуре 180 °C (физическая ширина рентгеновской линии 220).

Порядковый №	Количество циклов	Физическая ширина рентгеновской линии, $\beta \cdot 10^{-3}$ рад	Среднее значение, $\beta \cdot 10^{-3}$ рад	Твердость, HRC
Нагрев при температуре 450 °C				
1	1 цикл	63,4; 64,45	66,42	59,5
2	3 цикла	64,5; 71,68; 70,36	68,91	60
3	5 циклов	73,9; 69,0; 69,5	70,8	59,5
Нагрев при температуре 550 °C				
1	1 цикл	73,4; 63,9; 62,17	66,49	58,5

Продолжение таблица 1

2	3 цикла	67,57; 65,73; 64,98	66,09	59,5
3	5 циклов	69,48	69,48	59
Нагрев при температуре 700 °С				
1	1 цикл	71,69; 69,0	70,0	59,5
2	3 цикла	63,66; 64,0	63,87	60
3	5 циклов	63,0	63,0	59
Нагрев при температуре 800 °С				
1	1 цикл	60,5	60,5	59
2	3 цикла	63,9	63,9	59
3	5 циклов	60,76; 62,99	61,87	59,5
4	Закалка + отпускание при температуре 180°С первичного образца	64,98	64,98	59,5

Повторный нагрев в зоне выше точки образования односторонней полигональной структуры при высокой плотности дислокаций обеспечивает образование нужной структуры.

При предварительной циклической термообработке сталей при температуре до 450 °С происходит интенсивная перекристаллизация структуры, при этом полигональная структура не образуется.

Однако, при сравнении результатов предварительного циклического нагрева при температуре 450 °С и закалки законченным индукционным нагревом с результатами обычной закалки индукционным нагревом установлено, что плотность дислокаций повышается незначительно. При одинаковом уровне твердости 59-60 HRC разница в физической ширине рентгеновской линии составляет  $5 \cdot 10^{-3}$  рад.

Результаты испытаний на износостойкость соответствуют результатам исследования микроструктуры и тонкой структуры образцов. При первоначальном циклическом нагреве и затем индукционном нагреве образцов образовалась одинаковая микроструктура, одинаковые размеры зерен и одинаковый уровень твердости, разница наблюдалась лишь в уровне дефектности кристаллической решетки. Данная разница проявлялась в испытаниях на износостойкость. Результаты испытаний приведены в табл 2.

При проведении анализа данных, приведенных в табл 2, установлено, что значение износостойкости стали марки 65Г, образованной после предварительного 3-разового циклического нагрева при температуре 450 °С, охлаждения с помощью воздуха, индукционной закалки при температуре 900 °С и отпуска при температуре 180 °С в течение 60 минут, будет на 25-30% выше в сравнении с другими видами термической обработки.

Структурный анализ сталей показал, что во всех случаях предварительной циклической термообработки и индукционной закалки сталей образуется мартенситная структура с высоким уровнем жесткости (рис. 3). Стало известно,



что размеры мартенситных пластинок зависят от температуры нагрева для закалки. При предварительном циклическом нагреве при температуре 450 °С не наблюдалось влияния температуры на размеры аустенитных зерен и мартенситных пластинок. Установлено, что изменение размеров аустенитных зерен оказывает большое влияние на результаты закалки.

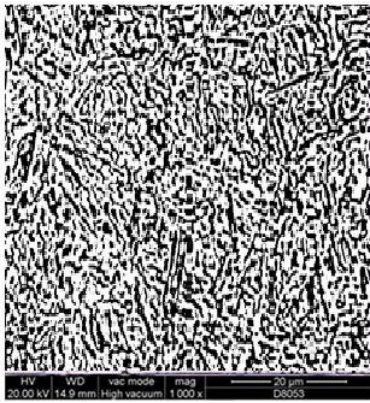
Таблица 2

Результаты испытания на износостойкость стали марки 65Г после термообработки при различных температурах

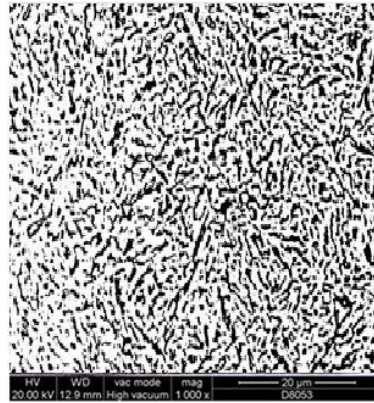
Вид термообработки и температура нагрева, °С	Износ, мг		Твердость, HRC	Сумма износа верхнего и нижнего образцов, мг	Износ, в %
	Верхний образец	Нижний образец			
Индукционная закалка при температуре 900 °С, отпуск при температуре 180 °С	59,07	29,06	53,5-60		
	65,0	28,86	53,5		
	61,53	28,78	58-69		
	58,36	27,34	59		
Среднее арифметическое значение	60,86	28,51	59	89,37	100
3 цикла с температурой 450 °С, индукционная закалка при температуре 900 °С, отпуск при температуре 180 °С	46,09	22,14	59		
	49,30	23,09	59		
	40,02	24,49	58		
	38,0	24,01	59		
Среднее арифметическое значение	43,35	23,43	59	66,78	75
3 цикла с температурой 550 °С, индукционная закалка при температуре 900°С, отпуск при температуре 180°С	60,33	22,05	59		
	36,01	24,15	59		
	54,26	25,13	59		
	59,12	27,02	59		
Среднее арифметическое значение	57,55	24,58	59	82,14	92

Рентгеноструктурный анализ образцов сталей, термообработанных индукционным способом при различных температурах показывает, что уровень дефектности кристалльного строения стали после закалки, зависит от продолжительности циклического нагрева (рис. 4).

При анализе данных, приведенных на рис. 4, стало известно, что самое высокое значение уровня дефектности кристалльного строения наблюдается при продолжительности циклического нагрева в 4-5 сек во всех температурах циклического нагрева, но это может измениться в зависимости от размера нагреваемого изделия.

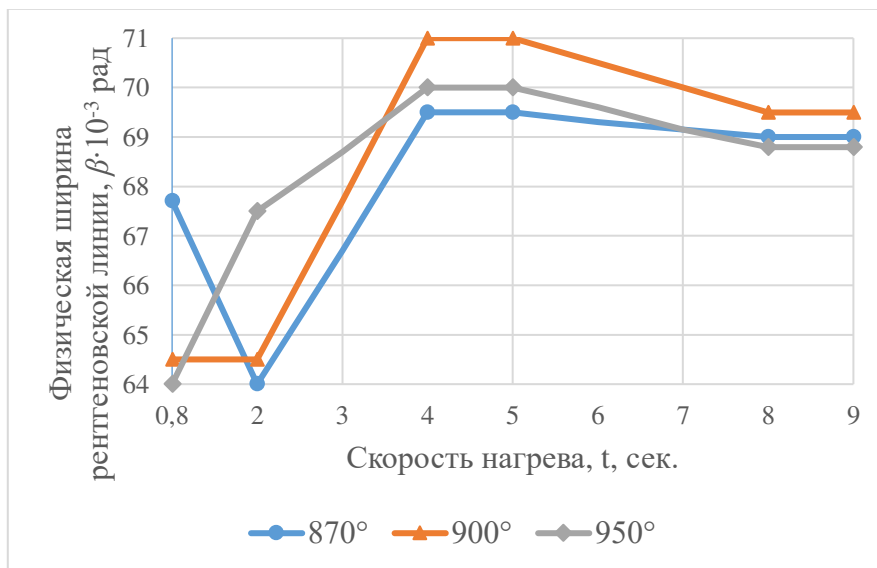


3 цикльный нагрев ( $\times 1000$ )



5 цикльный нагрев, ( $\times 1000$ )

**Рис. 3. Микроструктура стали марки 65Г после циклического нагрева при температуре 450°C и охлаждения с помощью воздуха, законченной индукционной заковки при температуре 900 °С и отпущения при температуре 180 °С**



**Рис. 4. Зависимость значения уровня дефектности кристалльного строения сталей от продолжительности циклической термообработки**

В четвертой главе диссертации, названной «Исследование механических свойств циклически нагретых и индукционно термообработанных сталей и испытания их на износостойкость в эксплуатационных условиях», приведено изучение влияния закаленной структуры, полученной циклической термообработкой, на механическую износостойкость высокоуглеродистых сталей, а также анализ результатов испытания выбранной технологии в эксплуатационных условиях.

В результате проведенных испытаний для изучения изменения механических свойств стали 65Г после предварительного циклического нагрева и отпущения при низкой температуре стало известно, что предел прочности образцов, предварительно циклически нагретых и индукционно закаленных сталей оказался значительно выше в сравнении с пределом прочности образцов,

полученных путем традиционной индукционной закалки, при этом разница составляет до 10%. Установлено, что повышение значения предела прочности может быть достигнуто без уменьшения значения ударной вязкости.

Для проведения сравнительных испытаний были использованы образцы стали марки 18ХГТ, предварительно прошедшие процесс нитроцементации и термообработки в АО «Агрегатный завод».

Результаты измерений на жесткость показали, что они были разными (неравномерными) в зависимости от месторасположения: в средней части площади образца твердость составляла 60 HRC, на краях образца твердость от 54 HRC до 60 HRC. Поэтому было решено дополнительно отпустить часть образцов до одинаковой равномерной твердости 53-54 HRC и 55-56 HRC. Такая обработка дает возможность оценить износостойкость при образовании одинаковой твердости, также соответствуют требованиям, приведенным на чертеже деталей мелкомодульной шестерни.

Для проведения сравнительного анализа результатов была проведена термообработка зубцов мелкомодульной шестерни, изготовленной из стали 65Г, в следующем порядке:

1. Циклический нагрев при температуре 400-500 °С, охлаждение с помощью подачи воздуха до температуры 80-100 °С. При напряжении анода 6,5 кВ, тока анода 5,5 А, значении тока 0,55 А наблюдался нагрев до температуры 450 °С, скорость нагрева – 3-4 сек. Время охлаждения с помощью подачи воздуха до температуры 80-100 °С составляло 2 мин 20 сек, количество циклов – 3.

2. Порядок термической закалки после циклической термообработки: при напряжении анода 9 кВ, тока анода 8,5 А, значении тока 0,8-1,8 А наблюдался нагрев до температуры 900 °С, скорость нагрева – 7 сек, охлаждающая среда – масло.

3. Нагрев в селитровой ванне в пределах температур 180-200 °С в течение 60 минут, опущение в воздухе.

В результате такого порядка термообработки средний диаметр аустенитного зерна в середине структуры зубца шестерни, изготовленного из стали 65Г, составлял в среднем  $d_{cp} = 0,055$ , что соответствует 5-6 баллам, а вершина зубца составляла  $d_{cp} = 0,0927 - 0,0729$  мм, это соответствует 4-5 баллам по ГОСТу, в тонком слое на поверхности зубцов шестерни образовалось покрытие с закаленной мартенситной структурой.

Как показывает анализ и сравнение результатов исследования, износостойкость зубцов шестерни, изготовленных из стали 65Г, предварительно циклически термообработанного и затем термообработанного путем индукционного нагрева, оказалось в 1,3-1,4 раза выше в сравнении с износостойкостью зубцов шестерни, термообработанных способом традиционного индукционного нагрева и в 1,2-1,3 раз выше износостойкости зубцов шестерни, изготовленных из нитроцементированной стали марки 18ХГТ.

Таким образом, данную технологию можно рекомендовать в производстве, так как предварительный циклический нагрев и охлаждение и затем закалка

способом индукционного нагрева обеспечивает высокие механические свойства сталей, также данная технология удобна для применения.

Результаты исследования были внедрены в производство малогабаритных зубьев шестерен, первоначально циклический нагрев в 3 раза, при низких температурах охлаждение на воздухе, завершённый индукционный нагрев и низкотемпературный разряд, что повысило износостойкость деталей в 1,3 раза, 1,4 раза. Эти результаты были внедрены в акционерном обществе «Агрегатный завод».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено, что если сталь 65Г предварительно подвергнуть трехкратному циклическому нагреву в интервале температур 450–500°С, то результате охлаждения на воздухе плотность дислокаций в кристаллах  $\alpha$ -фазы будет высокой. Это способствует повышению эксплуатационных свойств стали 65Г.

2. Установлено, что сталь 65Г, предварительно подвергнутая трехкратному циклическому нагреву в диапазоне температур 450-500 °С, образует полную пластинчатую структуру. Пластинчатая структура служит для повышения механических свойств сталей.

3. Определено, что предварительный трехкратный циклический нагрев в интервале температур 450-500 °С, оказывает высокой степени влияние на механические свойства стали 65Г. В результате, это дало возможность в высокой степени увеличить твердость и границу прочности стали до 10%, и сохранить ударную вязкость.

4. Определено, что для циклического нагрева током высокой частоты до температуры 450 °С обеспечивается сила тока  $U = 6,5 \text{ кВ.}$ ,  $I = 0,55 \text{ А}$ ,  $U = 9 \text{ кВ.}$ ,  $I = 0,8-1,8 \text{ А}$ . Полученные значения служат для точного определения температуры индукционного нагрева отжига.

5. Для АО «Агрегатный завод» разработан метод термической обработки мелких деталей, используемых в сельскохозяйственной технике, при предварительном циклическом нагреве мелких деталей, работающих в условиях трения металла. В результате потребление электроэнергии сократилось на 15-20%.

6. Определено, что значение наивысшей степени дефекта кристаллической структуры стали марки 65Г соответствует время циклического нагрева при температуре 450 °С в диапазоне 4-5 секунд. Результат позволил сократить технологический процесс закалки до 2-2,5 часов и повысить стойкость к износу в 1,2-1,3 раза.

7. Для АО «Агрегатный завод» разработан усовершенствованный порядок предварительного циклического нагрева и термической обработки мелких деталей применяемых в сельскохозяйственной технике работающей в условиях трения металла о металл. В результате появилась возможность увеличить срок эксплуатации мало модульных зубьев шестерни на 30-40%.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.04. ON AWARDING  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER  
ISLAM KARIMOV**

**YUSUPOV ABDULAZIZ ABDULLAJANOVICH**

**IMPROVING THE TECHNOLOGY OF INCREASING THE WEAR  
RESISTANCE OF STEEL PRODUCTS BY THE METHOD  
OF THERMAL CYCLING**

**05.02.01 - Material Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat  
treatment and treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-  
ferrous and rare metals. Technology of rare, rare and radioactive elements**

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

**Tashkent – 2021**

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for B2019.4.PhD/T1432.

The dissertation was completed at Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation in two languages (Uzbek, Russian and English (summary)) is available on the web page ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and the information and educational portal "Ziyonet" ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Berdiev Dorob Murotovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Official opponents:** **Norxudjaev Fayzulla Ramazanovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Riskulov Alimjon Ahmadjanovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **Navoi State Mining Institute**

The defense of the dissertation consists of «18» June 2021 at 10<sup>00</sup> hours at a meeting of the Scientific Council No DSc.03/12.2019.T.03.04. under the Tashkent State Technical University of Uzbekistan (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

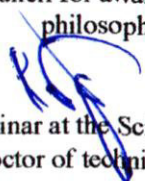
The dissertation can be found in the Information Resource Center of Tashkent State Technical University (registered for No.209) (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel. / Fax: (99871) 227-10-32)

Abstract of the dissertation sent «5» June 2021  
(register of the distribution protocol No. 123 from «5» June 2021)



  
**K.A. Karimov**  
Chairman of scientific council for awarding degree,  
doctor of technical sciences, professor

  
**Sh.B. Tashbulatov**  
Scientific secretary of scientific council for awarding degree, doctor of  
philosophy in technical sciences

  
**F.S. Abdullaev**  
Chairman of scientific council seminar at the Scientific Council for the  
awarding academic degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))

**The purpose of this study** is to improve the technology for improving wear resistance of steel components by providing a phase and structural transformations during cyclic heat treatment.

### **Tasks of the research:**

analysis of the influence of the heating time spent on each heating cycle on the structure of steel and the formation of microstructural parameters during heat treatment of steels by initial cyclic heating;

to determine the influence of the initial cyclic heat treatment on the mechanical properties of steel and the degree of dependence of alloying elements in the composition of steel on the number and time of heating cycles;

determination of the values of the current and voltage, providing a constant temperature of the initial cyclic heating and final annealing with a high frequency current;

determine the effect of the initial temperature and cyclic heating time (cyclic heating below the phase exchange point) on the corrosion resistance of steels after the completion of induction heating and discharge;

on the basis of the research results, to develop an improved technology of non-traditional cyclic heat treatment to increase the service life of the teeth of small modular gears.

**Research object** selected fine modular small gear made of steel 65G.

**The subject of research** is the formation of dislocation density in the crystal structure of steels by cyclic heating and heat treatment, the formation of an initial structure suitable for their strengthening, dislocation density, and corrosion resistance of structural steel parts.

**Methods of research.** During the study, a certified chemical method and an X-ray analyzer of the Shimadzu brand were used to study the composition of chemical elements in alloys and the structure of the alloy, an ion chromatograph of the Metrohm 850 Professional IC brand, analytical methods of a scanning electron microscope Zeiss EVO MA 10 / Aztec Energy Advanced X-Act brand (SEM- EDX).

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

when 65G steel was first cycled three times, it was found that the dislocation density in the  $\alpha$ -phase crystals was high and that a complete lamellar structure was formed;

it was found that steel grade 65G initially heated three times cyclically to a temperature of 450-500 ° C and then processed acquires a high degree of hardness, the limit of durability increases, the degree of impact toughness does not change, and also does not depend on the number of cycles and the time of heating and cooling of alloying elements;

it is determined that at a current of high frequency, the values of the current and voltage, initially providing cyclic heating and a constant annealing temperature;

it was determined that during cyclic heating, at different temperatures, the value of the maximum degree of crystal structure defect corresponds to the fact that the total heat treatment temperature corresponds to a cyclic heating time of 4-5 seconds;

an advanced technology of high-frequency cyclic heat treatment has been developed, which allows to increase the service life of small teeth of the modular gear by 30-40% due to the initial cyclic heating and cooling, and the final induction heating.

**Practical implications of the study:**

the technology for heat treatment has been improved, which makes it possible to increase the wear resistance of parts of working parts operating under conditions of metal-to-metal friction using preliminary cyclic heating and then pulse hardening;

a procedure for preliminary cyclic heating at low temperatures and cooling of working parts (teeth) of fine-modular gears has been developed before induction heating using high-frequency current, which allows the performance of working parts of fine-modular gears;

On the basis of the results of the study, substantiated recommendations for cyclic heat treatment of working parts (teeth) of fine-modular gears were developed and introduced into production.

**Implementation of the research results.** Based on the scientific results of research on improving the technology for increasing the wear resistance of steel products by the method of cyclic heat treatment:

To increase the wear resistance of the teeth of small-modular gears, the Aggregate Plant JSC introduced the technology of cyclic heat treatment (Information No. 09 / 06-25-1651 of Uzavtosanoat JSC 16.11.2020). The application of this technology in practice has made it possible to increase the wear resistance of the gear teeth by 1.2-1.3 times.

Aggregate Plant JSC has introduced a technology for heat treatment of teeth using high-frequency currents during hardening of gear teeth for heat treatment (Information No. 09 / 06-25-1651 of Uzavtosanoat JSC 16.11.2020). As a result, electricity consumption has decreased by 15-20%.

To reduce metal consumption, Aggregate Plant JSC has introduced a new procedure for cyclic heat treatment of teeth of fine-modular gears (Information No. 09 / 06-25-1651 of Uzavtosanoat JSC 16.11.2020). The use of these modes of cyclic heat treatment made it possible to reduce metal consumption by 12-15%.

**The structure and scope of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of introduction, four chapters, list of used literature, applications. The scope of the dissertation is 120 pages.



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

**I – бўлим (I – часть; I – part)**

1. Berdiyev D.M., Yusupov A.A., Increase of abrasive wear resistance of steels by thermal processing // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 5, Issue 9, September 2018. P 6851-6854. [Осиё мамлакатлари (05.00.00; №8)].

2. Юсупов А.А., Бердиев Д.М. Пўлатларни абразив ейилиш бардошлилигини циклик термик ишлов бериш усули билан ошириш // Композицион материаллар илмий-техникавий ва амалий журнали. – Ташкент, 2019. – №3. – Б. 85-87. (05.00.00; №13).

3. Berdiyev D.M., Yusupov A.A., Umarova M.A., Tashmatov R.K., Saydumarov V.M., Makhmudova N.A., Akhmadaliev Sh.Sh. Increase of abrasive wear resistance of steels by thermal processing // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 11, November 2019. P 11704-11706. [Осиё мамлакатлари (05.00.00; №8)].

4. Юсупов А.А., Бердиев Д.М. Пўлат маҳсулотларини ейилишга бардошлилигини циклик термик ишлов бериш усулида ошириш // Ўзбекистон Механика муаммолари журнали. – Тошкент, 2020. – №1. – Б. 154-158. (05.00.00; №6).

5. Бердиев Д.М., Юсупов А.А., Умарова М.А. Основные параметры нетрадиционных методов термической обработки для повышения абразивной износостойкости стальных изделий // ФарПИ ИТЖ. – Фарғона, 2020. Том 24. – №1. – Б. 15-20. (05.00.00; №20).

6. Бердиев Д.М., Юсупов А.А. Повышение износостойкости зубьев зубчатых колес циклической закалкой с индукционным нагреванием // Вестник машиностроения, – Москва, 2020. – №3. – С. 50-53. [Мустақил давлатлар ҳамдўстлиги мамлакатлари (05.00.00; №13)].

7. D.Berdiev, A.Yusupov, M.Umarova T.Ibodullaev Improving wear resistance of steel products to unconventional heat treatment methods // International Journal of Scientific & Technology Research. Vol. 9, Issue 02, February 2020. P 2504-2509.

8. D.Berdiev, A.Yusupov Improving the Wear Resistance of Gear Teeth by Cyclic Quenching with Inductive Heating // Russian Engineering Research, 2020, Vol. 40, No. 6, pp. 473–475. [Америка мамлакатлари (05.00.00; №27)].

9. Berdiyev D.M., Yusupov A.A., Ortiqov S.S. Influence of Cyclic Heating Mode on the Wear Resistance of Steel // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 7, Issue 10, October 2020. P 15157-15161. [Осиё мамлакатлари (05.00.00; №8)].

**II – бўлим (II – часть; II – part)**

10. Бердиев Д.М., Юсупов А.А., Умарова М.А. Термик ишлов бериш ёрдамида деталларни ишчи органларини абразив ейилишга бардошлилигини

ошириш // «Замонавий ишлаб чиқаришнинг иш самарадорлиги ва энерго – ресурс тежамкорлигини ошириш муаммолари» Халқаро илмий-техникавий анжуман. Илмий мақолалар тўплами. – Андижон, 2018. – Б. 489-493.

11. Юсупов А.А., Муродов. А.С. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственного машиностроения методом термоциклической обработки //Литьё и металлургия 2018. I Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, 15-16 ноября 2018 года. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 54-55.

12. Юсупов А.А., Умарова М.А. Термик пухталаш билан абразив ейилишга чидамликни ошириш // Халқаро илмий-амалий к конференция «Иновация-2018»: Илмий мақолалар тўплами. ТошДТУ. – Тошкент, 2018. – Б. 70-72.

13. Бердиев Д.М., Юсупов А.А., Ё.Д.Ахмаджонов. Повышение работоспособности деталей сельскохозяйственного машиностроения методом термоциклической обработки // Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги – озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истикболлари. // Халқаро анжуман илмий ишлар тўплами. – Тошкент. ТошДТУ, 2020. – Б. 83-85.

14. Юсупов А.А., Икромалиев С.Р., Ахмаджонов Ё.Д. Повышение износостойкости зубьев зубчатых колес циклической закалкой с индукционным нагреванием // «Техника и технология машиностроения» 9-Международная научно-практическая конференция: Сборник научных трудов. – Омск, 2020. – С. 87-89.

15. Юсупов А.А., Ахмаджонов Ё.Д. Циклик термик ишлов бериш усули билан пулатларини ейилишга бардошлилигини ошириш // «Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» Халқаро илмий-амалий конференция. Илмий мақолалар тўплами. – Андижон, 2020. – Б. 800-807.

Диссертация автореферати Тошкент давлат техника университети нашриёт  
бщлимида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги  
матнларини мослиги текширилди.

Босишга рухсат этилди: 03.06.2021 йил. Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
«Times New Roman» гарнитураси. Рақамли босма усулида  
босилди.

Шартли босма табоғи: 3. Адади 60. Буюртма № 58.

«Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти» босмахонасида чоп этилди.  
Тошкент, Шохжаҳон кўчаси, 5-уй.

