

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН  
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТИЛАБОВ БАХОДИР ҚУРБАНОВИЧ**

**ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИ ҚОПЛАМАЛАР ВА ДЕТАЛЛАРНИ  
ТАЙЁРЛАШ УЧУН МОДЕЛИ ГАЗГА АЙЛАНУВЧИ ҚУЙМАҚОРЛИК  
УСУЛИ БЎЙИЧА ЮҚОРИХРОМЛАНГАН ҚОТИШМАЛАРНИ  
ЛЕГИРЛАШ ВА ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

УДК 666.017; 621.78.011, 621.74.04

**Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторский (DSc) диссертации**  
**Contents of the doctoral (DSc) dissertation abstract**

**Тилабов Баходир Қурбанович**

Ейилишга бардошли қопламалар ва деталларни тайёрлаш учун модели газга айланувчи қуймакорлик усули бўйича юқорихромланган қотишмаларни легирлаш ва термик ишлов бериш ..... 3

**Тилабов Баходир Қурбанович**

Легирование и термическая обработка высокохромистых сплавов для изготовления износостойких деталей и покрытий при литье по газифицируемым моделям ..... 27

**Tilabov Bahodir Qurbanovich**

Alloyage and heat treatment of high-chrome alloys for manufacturing wear-resistant parts and coatings casting by gasified models ..... 51

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 54

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА ЎЗБЕКИСТОН  
МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР  
БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТИЛАБОВ БАХОДИР ҚУРБАНОВИЧ**

**ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИ ҚОПЛАМАЛАР ВА ДЕТАЛЛАРНИ  
ТАЙЁРЛАШ УЧУН МОДЕЛИ ГАЗГА АЙЛАНУВЧИ ҚУЙМАҚОРЛИК  
УСУЛИ БЎЙИЧА ЮҚОРИХРОМЛАНГАН ҚОТИШМАЛАРНИ  
ЛЕГИРЛАШ ВА ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2017**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.1.DSc/T5 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва “ZiyoNet” Ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:**

**Мухамедов Анвар Акбарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Маҳкамов Руфат Гулямович**  
Ўзбекистон Республикаси ФА академиги,  
техника фанлари доктори, профессор

**Михридинов Рискидин Михридинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**«Агрегат заводи» АЖ**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.03.04 рақамли Илмий Кенгашнинг 2017 йил «20» июл куни соат 14-00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел/факс (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (23 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, университет кўчаси, 2. Тел. (99871) 246-46-00.

Диссертация автореферати 2017 йил «07» июл куни тарқатилди.  
(2017 йил «23» июлдаги 23 рақамли реестр баённомаси).

**К.А.Каримов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Н.Д.Тураходжаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш котиби, т.ф.д., доцент

**Н.Д.Тураходжаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий  
семинар раиси, т.ф.д., доцент

## **КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Дунёнинг саноати ривожланган мамлакатларидаги металлургия корхоналарида қора металлдан сифатли куймалар олиш учун қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Металл куйиб олувчи мамлакатлар орасида АҚШ, Япония, Германия, Англия, Австралия, Ҳиндистон, Канада, Россия ва бошқа давлатлар етакчи ҳисобланиб, уларда дунёда олинадиган металлнинг 90% ишлаб чиқарилади. Статистик маълумотларга кўра, ҳар йили юқори сифатли металл маҳсулотлари ишлаб чиқариш учун 6-7 млрд. АҚШ доллари, жумладан, Европа ва МДХ давлатларида 2-3 млрд. доллар ҳамда ишлаб чиқариш саноати юқори даражада ривожланган мамлакатларда 4-5 млрд. АҚШ доллар маблағ сарфланмоқда. Глобаллашув жараёнининг чуқурлашуви ва металл маҳсулотларининг сифатига бўлган талабнинг ортиши шароитида энергия ва ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган самарали усул асосида сифатли юқорихромли куйма деталлар олиш технологиясини яратиш ва уни амалиётга тадбиқ этиш муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Республикамиз мустақилликка эришгандан буён мамлакатимизда металлшунослик соҳасини самарали ривожлантириш ҳамда жаҳон бозорида рақобатбардош бўлган юқорихромли ва қаттиқ қотишма қопламали деталлар ишлаб чиқиш асосида термик ишлов берилган сифатли металл буюмларни ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада соҳанинг захира базасини мустаҳкамлаш, маҳсулот сифатини ошириш, деталлар тайёрлашни янги замонавий технологияларини қўллаш ва уларга самарали ишлов бериш ҳамда металлни қайта ишлаш корхоналарини замонавий талаблар асосида ривожлантириш, жумладан, куйма деталларнинг ейилишга бардошлилигини ошириш учун қотишмаларнинг оптимал таркиби ва термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқиш борасида сезиларли натижаларга эришилди.

Жаҳонда куймакорлик усулида олинаётган металллар ва қотишмалар мустаҳкамлигини ошириш ва сифат кўрсаткичларини яхшилаш орқали иқтисодий самарани янада ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу соҳада мақсадли илмий-тадқиқотларни, жумладан, куйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: юқорихромли қотишмалар таркиби ва хоссаларини эътиборга олиб, сифат параметрларини аниқлашнинг замонавий усулларини ишлаб чиқиш; металл буюмларининг мустаҳкамлигини ошириш учун қопламалар янги таркибини ишлаб чиқиш; термик ишлов беришнинг янги режимларини ишлаб чиқиш мазкур соҳанинг долзарб масалаларидан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2012 йил 21 майдаги ПФ-1758-сон «2012-2016 йилларда қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини янада модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан қайта жиҳозлаш дастури тўғрисида» ги ва 2015 йил 11 февралдаги ПФ-2298-сон «2015-2019 йилларда тайёр маҳсулот, ташкил қилувчи буюмлар ва материалларни ишлаб чиқаришнинг маҳаллийлаштиришни чуқурлаштириш дастурига қўшимчалар киритиш» даги Фармонларида ҳамда мазкур соҳада қабул қилинган бошқа

меъерий-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 технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>1</sup>.**

Юқорихромли қотишмаларни олиш технологияси, структураси ва хоссаларини шакллантиришга йўналтирилган кенг қамровли илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан, Инженерлик технологиялари университети (АҚШ), Нагоя Миллий технологиялар институти (Япония), Виен техника университети (Германия), Австрия илмий-тадқиқотлар институти (Австрия), металлургия инженерлик департаменти университети (Ҳиндистон), Онтария Металл корпорацияси институти (Канада), Россия Федерацияси Фанлар академияси қошидаги Урал металлар физикаси бўлими (Россия), материалшунослик муаммолари институти (Украина), ва Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон Республикаси) томонидан олиб борилмоқда.

Қотишманинг юқори хоссаларини таъминлайдиган структурани ҳосил қилишга оид дунёда олиб борилган тадқиқотлар асосида қатор, жумладан қуйидаги натижалар олинган: қотишма таркибидаги углерод ва фосфор миқдорини камайтириш технологияси ишлаб чиқилган (Инженерлик технологиялари университети АҚШ) ва (Нагоя Миллий технологиялар институти Япония); юқорихромли қотишмалар таркибидаги углерод миқдорини камайтиришни таъминлайдиган термик ишлов бериш усуллари ишлаб чиқилган (Виен техника университети Германия) ва (Австрия илмий-тадқиқотлар институти); деталларнинг хизмат муддатини оширишни таъминлайдиган технологиялар ишлаб чиқилган (металлургия инженерлик департаменти университети Ҳиндистон), (Онтария металл корпорацияси институти Канада), металл ва қотишмаларни суюқлантиришда таркибидаги С, Si, Mn, Ni, S нинг миқдорини камайтириш ва углеродни тиклаш усули ишлаб чиқилган (Россия Федерацияси Фанлар академияси қошидаги Урал металлар физикаси бўлими, қаттиқ қотишмали қопламалар ва эритма материалларининг ейилишга чидамлилигини ошириш усуллари ишлаб чиқилган (материалшунослик муаммолари ва электр пайвандлаш институтлари Украина), юқорихромли қотишмалар таркиби ва уларнинг мустаҳкамлигини таъминловчи усуллар ишлаб чиқилган (Тошкент давлат техника университети Ўзбекистон Республикаси).

Дунёда юқорихромли қотишмалар сифати ва структурасини шакллантириш бўйича қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда

<sup>1</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <http://www.sciepub.com/MSME/content/2/3?v=1>; [www.ew-a.org](http://www.ew-a.org); <http://anopremier.ru>; [http://www.davidpublishing.com/journals\\_info.asp?jId=957](http://www.davidpublishing.com/journals_info.asp?jId=957); <http://www.subarc.ru/kontent/naplavka/>; <http://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/47/01/72.pdf>; International journal of advanced research in science engineering and technology (2006-2015); Металловедение и термическая обработка металлов (2004-2016); Литейное производство (2003-2016); Трение и износ в машинах (2004-2016); Материаловедение (2005-2017) ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда: юқорихромли қотишмаларнинг илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда: юқорихромли қотишмаларнинг механик хоссаларига салбий таъсир қилувчи углерод, марганец ва никель қўшимчаларининг миқдорини камайтириш усулларини ишлаб чиқиш; қотишмалар таркибида углероднинг миқдорини назорат қилувчи қурилманинг конструкциясини ишлаб чиқиш; юқорихромли қотишмаларнинг оптимал таркибларини ва қоплама материалларининг янги таркибларини ишлаб чиқиш; юқорихромли қотишмаларнинг хоссалари ва абразив ейилишга таъсирини ўрганиш усулларини ишлаб чиқиш; юқорихромли қотишмалар учун икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Дунё тажрибасида юқорихромли қотишмаларнинг олинишидаги асосий муаммоларга таркибидаги легирловчи элементларнинг миқдорини камлиги, қотишма таркибидаги зарарли элементларни ажратиб олишнинг қийинлиги, қўлланиладиган жиҳозларнинг иш унумдорлигини пастлиги киради. G.Laird, R.Gundlach, Y.Matsubara, A.Bedolla-Jacuinde, R.Snoteborsky, M.Janssen, D.Hanlon, A.Chandrashekhar, N.Gupta, В.Г.Ефременко, О.С.Комаров, В.Д.Садовский, А.П.Гуляев, Ю.М.Лахтин, И.И.Цыпин, М.М.Тененбаум, М.М.Хрущов, М.А.Бабичев, Ю.А.Степанов, В.С.Дорошенко, И.О.Шинский ва бошқа олимларнинг асосий назарий ва амалий тажрибавий тадқиқотлари ушбу муаммони ечимига бағишланган. Сифатли структурага эга юқорихромли қотишмасини олишда қиздиришнинг бир қатор режимлари яратилган, аммо юқорихромли оқ чўянлар ва қотишмаларнинг кимёвий таркибини оптималлаш ва механик хоссаларини яхшилаш жараёнлари ўрганилмаган ҳамда икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов беришнинг ноанъанавий режимлари қўлланилмаган.

Юқорихромли қотишмаларда сифатли структура ҳосил қилиш учун қопламали қотишмалар оптимал таркибини ишлаб чиқиш ва уларнинг мустаҳкамлигини ошириш усулларини такомиллаштириш, термик мустаҳкамлашда юқорихромли чўянлар ва қаттиқ қотишмали қопламаларга ишлов беришда қотишмаларнинг таркибидаги углерод ва марганец миқдорини оптималлаш технологиясини ишлаб чиқишда қатор олимлар, жумладан Р.Г.Маҳкамов, А.А.Мухамедов, А.Х.Хаджиев, В.В.Меликов, В.В.Чекуров, Р.М.Михридинов, Ю.Н.Мансуров ва бошқаларнинг ҳиссалари катта бўлиб, уларнинг илмий ишларида ўз аксини топган ва соҳа ривожини учун маълум даражада ижобий натижалар олинган.

Лекин, амалга оширилган тадқиқотларда юқорихромли қотишмалар микроструктуралари, кимёвий таркиблари ва хоссалари, уларнинг абразив ейилишга таъсири ўрганилмаган ва ҳисобга олинмаган. Жумладан, юқорихромли ва юқориуглеродли қотишмалар билан ўхшаш тадқиқотлар ўтказилмаган. Бундан ташқари, икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш оптимал режимларини қўллаган ҳолда қуйма деталлар ейилишга бардошлилигини оширишга етарли эътибор қаратилмаган. Ҳозирги пайтда юқорихромли қотишмалардан деталлар тайёрлаш ва уларга оптимал режимда термик ишлов беришни амалга ошириш илмий-амалий аҳамиятга эга долзарб вазифа ҳисобланади.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий ўқув юрти илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режаси №01-02 «Абразив ейилишга чидамлилигини икки ва ундан ортиқ бараварга ошириш мақсадида юқори хромли оқ чўян қуймаларини икки марта фаза қайта кристалланиш термик мустаҳкамлаш технологиясини ишлаб чиқиш ва тузилишининг ҳосил бўлиш механизмини тадқиқот қилиш» (2008-2009 й.й.); №6/11-1827/07-2011 «Модели газга айланувчи қуймакорлик усули бўйича қуйиш услуби билан қаттиқ қотишмали ейилишга чидамли қопламли пўлат ва чўян қуймалар тайёрлаш ва уларга термик ишлов бериш технологияси» (2011-2012 й.й.); №01/10 «Юқорихромли оқ чўяннинг абразив ейилишга чидамлилигини ошириш мақсадида ундан тайёрланган цилпобсларнинг тайёр қуймаларини олиш ва уларга термик ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқиш ва тузилишининг пайдо бўлиш жараёнини тадқиқот қилиш» (2011-2012 й.й.); №73 «Пеномоделли газга айланувчи қуймакорлик усули бўйича қуйиш йўли билан қаттиқ қотишмали ейилишга чидамли қопламли машинасозлик, металлургия ва энергетика машиналарининг пеномоделлари ва қуйма деталларини олиш ва модель ускуналарини тайёрлаш ва уларга кейинги термик ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқиш» (2012-2013 й.й.) мавзуларидаги амалий инновацион лойихалар ва хўжалик шартномалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** юқорихромли оқ чўянлар ва қаттиқ қотишмали қопламалар оптимал кимёвий таркиби ва термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

юқорихромли қотишмалар негизида қуйма деталлар олиш, шунингдек модели газга айланувчи усул бўйича қуйиб олинадиган ерга ишлов берувчи машиналар деталларини ейилишга бардошли қаттиқ қотишмали қопламалар билан олиш учун таркибни асослаш ва танлаш;

термик ишлов берилганда фаза алмашувларини мураккаблаштирувчи структурали таркибий қисмлар ҳосил қилмасдан, тежамкор-легирланиши лозим бўлган қотишма таркибини ишлаб чиқиш;

дислокациялари зичлигининг юқори даражали ва дисперс заррачали иккинчи фаза - иккиламчи карбидлари металл асосининг тузилишини яратиш йўли билан ейилишга бардошлилиги оширилганда юқорихромли қотишманинг потенциал имкониятидан максимал фойдаланиш имконини берувчи ноанъанавий термик ишлов бериш усулини ишлаб чиқиш;

ейилишга бардошлироқ деталлар ва импортга чиқариладиганидан фарқ қиладиган реал буюмларга эришиш ва таклиф этилаётган оқ чўяндан ва қаттиқ қотишмали қопламалардан машина ва ускуналар қуйма деталларининг тажрибавий тўпларини яқунловчи термик ишлов бериш ўтказилгандан сўнг натуравий ейилишга бардошлилик синовларини ўтказиш, бажарилган илмий-тадқиқотлар натижаларини ишлаб чиқариш корхоналарига жорий этиш.



**Тадқиқотнинг объекти** сифатида юқорихромли оқ чўяндан қуйиб олинган ишчи ғилдираклар, цельпебслар ва модели газга айланувчи усулда тайёрланган қаттиқ қотишма қопламали деталлар намуналари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** юқорихромли оқ чўяннинг таркибига боғлиқ ҳолда структура ва хоссалари ўзгаришини, ейилишга бардошли қопламдаги структураларни шакллантириб, икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов берилганда хоссаларнинг ўзгариш қонуниятлари ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишида олинган юқорихромли қотишмалар структурасини ўрганиш учун металлография, рентген тузилиши таҳлили, намуналарнинг макро - ва микроқаттиқлигини ўлчаш усуллари, термик ишлов бериш режимлари, абразив ейилишга синовлар ва тайёр буюмларнинг натуравий синов усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

термик ишловни ўтказишда талаб этиладиган структура ва хоссалар ҳосил бўлишини таъминловчи  $C+Si+Mn+Cr+Ni$  элементлар йиғиндиси бўйича юқорихромли оқ чўяннинг оптимал таркиби ишлаб чиқилган;

олтингугурт юқорихромли қотишмаларнинг ейилиш бардошлигини камайтирилиши аниқланган;

модели газга айланувчи усул билан деталлар ишчи юза сиртига қаттиқ қотишма қопланганда структура ҳосил бўлиш механизми ишлаб чиқилган;

яқунловчи термик ишлов бериш жараёнида фаза қайта кристалланганда юқорихромли оқ чўянлар ва қотишмалар металл асоси юпқа структурали параметрларининг фазаси ирсият қилиб олиниши аниқланган;

қотишма совигандан сўнг унинг металл асосида дислокацияларнинг ўта юқори зичликка эга тузилишини шакллантирадиган, юқорихромли қотишмалар қиздириладиган экстремал ҳароратнинг кўрсаткичлари ва такрорий фаза қайта кристалланишда дислокациялар маълумотида ирсият ҳодисалари ишлаб чиқилган;

икки марта фаза қайта кристалланишда юпқа структурани насл қилиб олиш самарасидан фойдаланиш, қотишманинг ейилишга бардошлилигини 33–35% га ошиши ва у импорт қотишманикига қараганда юқорироқ бўлиши ҳамда ейилишга бардошли қопламларда 80–82% га ошиши аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

барабанли тегирмон цельпебслари, насослар ишчи ғилдиракларини юқорихромли оқ чўяндан ва ерга ишлов берувчи машиналар қуйма деталларини қаттиқ қотишмали қопламалардан тайёрлаш учун оптимал кимёвий таркиблар ишлаб чиқилган;

машиналар ва ускуналар деталлари учун ейилишга бардошлилигини 2-3 мартага ошириш имкониятини берадиган, икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш оптимал режимлари ишлаб чиқилган;

термик тобланган қуйма деталлар ишлаб чиқариш корхоналарида синалган, қўллаш мумкинлиги асосланган ва тавсия этилган;

икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов берилган қуйма деталларнинг ейилиш туфайли металлнинг қайтмасдан йўқолиши тўлиқ бартараф қиладиган технология ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Аввалом бор, олинган кўпчилик тажриба-экспериментал материаллар натижаларини бошқа статистик тажриба натижаларига мослиги ва стандарт усуллар қўлланилгани ҳисобланади. Бу изланиш металлография ва рентгеноструктура таҳлиллари, макро - ва микроқаттиқлиги қийматлари, термик ишлов бериш, ейилишга бардошлилик синовлари натижаларининг тўлиқ ўзаро боғлиқлиги, олинган тажриба натижалари мавжуд тажриба маълумотларига солиштирилганлиги ва реал иқтисодий фойда билан ишлаб чиқаришга жорий этилганлиги билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти юқорихромли қотишмалардаги γ-фаза элементлар-стабилизаторлари ролини баҳолашдан ва қотишмаларга термик ишлов берилганда ирсият ҳодисаси қилиб олиш ҳодисаларини қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти юқорихромли қотишмаларни қўшимча легирлаш ҳисобига эмас, балки икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов беришнинг ноанъанавий режимларидан фойдаланиб, абразив-коррозия ейилиш шароитларида ишлайдиган деталларнинг ишлаш муддатларини узайтиришга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.**

Ейилишга бардошли юқорихромли қотишмалар ва қопламалар олиш усуллари бўйича ишлаб чиқилган технологиялар асосида:

моделли газга айланувчи қуймакорлик усулида олинган қаттиқ қотишмали қопламаларнинг оптимал таркиби ва термик ишлов режимлари «Ўзбекистон металлургия комбинати» акциядорлик жамиятига прокат роликларининг ейилишга бардошлилигини ошириш учун жорий этилган (Ўзбекистон металлургия комбинати акциядорлик жамиятининг 2017 йил 28 апрелдаги 01-1/605–сон маълумотномаси). Ишлаб чиқилган қаттиқ қотишмалар таркиби ва термик ишлов режимлари деталларнинг ейилишга бардошлилигини 2–3 мартага ошириш имконини берган;

юқорихромли оқ чўяннинг оптимал таркиби ва термик ишлов бериш режимлари Ўзбекистон Республикаси «Ўзагротехсаноатхолдинг» акциядорлик жамиятига, хусусан «Дальварзин таъмирлаш заводи» масъулияти чекланган жамиятга тайёрланган деталларнинг ейилиш бардошлилигини ошириш учун татбиқ этилган («Ўзагротехсаноатхолдинг» акциядорлик жамиятининг 2017 йил 17 апрелдаги НО-17-03/512–сон маълумотномаси). Ишлаб чиқилган таркиб ва термик ишлов режимлари қуйма деталларнинг ейилишга бардошлилигини 2–3 мартага ошириш имконини берган;

моделли газга айланувчи қуймакорлик усулида олинган қаттиқ қотишмали қопламалар оптимал таркиби ва термик ишлов режимлари Ўзбекистон Республикаси «Ўзагротехсаноатхолдинг» акциядорлик жамиятига, хусусан «Metallmexqurilish» холдинг компаниясига ерга ишлов берувчи машиналарнинг деталларини ейилишга чидамлилигини ошириш учун жорий этилган («Ўзагротехсаноатхолдинг» акциядорлик жамиятининг 2017 йил 17 апрелдаги НО-17-03/512–сон маълумотномаси). Ишлаб чиқилган қаттиқ қотишмали

қопламалар таркиби ва икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш режимлари деталларнинг ейилиш бардошлилигини 3–4 мартага ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 21 та республика ва 12 халқаро илмий-техник ва илмий-амалий анжуманларида апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 56 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 22 та мақола, жумладан, 18 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 195 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижалари амалиётга жорий қилинган, илмий ишлар нашр этилган, диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Абразив-коррозион ейилиш шароитларида ишлайдиган деталлар учун ейилишга чидамли юқорихромли қотишмалар**» деб номланган биринчи бобида абразив-коррозион ейилиш шароитларида ишлайдиган деталлар учун фойдаланадиган юқорихромли оқ чўян ва қоплама эритма материалларининг таркиби, хоссалари, қўлланилиш соҳаларида бажарилган тадқиқотларнинг таҳлилий шарҳи ўтказилган.

Республикаимизнинг металлургия, цемент ва машинасозлик таъмирлаш заводларининг адабиёт манбалари ва техник ҳужжатларини таҳлил қилиш натижасида қуйидаги хулосаларга келинган:

Ўзбекистон Республикасининг бир қатор корхоналарида юқорихромли оқ чўянлар қуймаларидан, ейилишга чидамлилиги оширилганда чўяннинг потенциал имконияларини тўлиқ қўллаш имкониятини бермайдиган термик ишлов берилиб фойдаланилади, тавсия этилаётган режимлар эса стандартлар ва техник шартларга биноан етарсиз асосланган;

ерга ишлов берувчи машиналар ишчи органларининг деталлари ва металлургия ускуналарининг прокатлаш станинаси роликлари ҳозирги вақтда ейилишга чидамли қаттиқ қотишмаларга эга эмас;

ейилишга чидамли қопламалар учун фойдаланиладиган юқорихромли оқ чўянлар ва қотишмаларнинг русумлари сезиларли миқдордаги легирловчи

танқис элементлари – Mn, Mo, Ti, Ni дан иборат, бу эса учидан товланиш ва ейилишга чидамлик нуқтаи назаридан етарсиз асосланган;

юқорихромли чўян ва қотишмадан олинган эритилган ва қуйма деталлар қопламаларининг структураси ва хоссалари қотиш жараёнида шаклланади. Бунда механик ва кейинчалик термик ишлов беришга ёмон бардош берадиган барқарор структура ҳосил бўлади. Бунда катта миқдордаги қолдиқ аустенит туфайли қаттиқлик ва ейилишга чидамлик пасаяди.

Юқорида баён этилганлар муносабати билан: қиздирилган ва совутилганда фазавий алмашувлардан енгил ўтиш қобилиятига эга бўладиган танқис - Mo, W, Ti элементларсиз материал таркибини танлаш; газланувчи моделлар бўйича деталлар қуйиб олишда қаттиқ қотишмали қоплама қоплаш технологиясини ишлаб чиқиш ва механизмини ўрнатиш; абразив ейилишга чидамликни максимал ошириш учун термик ишлов беришни ноанъанавий усулларидан фойдаланиш каби муаммоларни ҳал этиш талаб этилади.

Ушбу муаммони ҳал этиш учун қуйидагиларга тегишли бўлган илмий асосланган техник ва технологик қарорлар ишлаб чиқиш лозим:

кенг фойдаланиладиган ИЧХ28Н2, 300Х32Н2М2ТЛ чўянлар негизда юқорихромли оқ чўян ва «Сормайт ПГ-С27» хилидаги қаттиқ қотишмали қоплама таркиби шундай тўғирланиши керак-ки, унинг таркибида молибден, вольфрам, титан бўлмаслиги ва никель таркибини камайтириш, бироқ етарли даражада учидан товланганда термик ишлов бериш операциялари ўтказиш вақтида фазавий алмашувларнинг тўлиқлигини таъминлаш керак;

моделли газга айланувчи қуймакорлик усулида деталларни тайёрлашда структура алмашуви механизми, коррективировка қилинган ейилишга чидамлик қопламани қоплаш қатлами таркиби технологиясини ишлаб чиқиш;

қотишмалар зарурий структура параметрлари қўшимча легирлаш ҳисобига эмас, балки фаза қайта кристалланишида термик мустаҳкамлашни ноанъанавий режимлардан фойдаланиш ҳисобига ҳосил бўлади, ейилишга чидамлиги импорт деталлардан юқори бўлишига эришиш имкониятини берадиган ейилишбардош қопламали қуймалар тайёр деталлар ва буюмларга термик ишлов бериш режимлари ва технологияси билан эришилади.

Диссертациянинг «**Тадқиқот объекти ва намуналарнинг синаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида экспериментлар ўтказиш услуги келтирилган ва тадқиқотлар учун материалларни танлаш кўрсатилган. Тадқиқот объекти сифатида («ОКМК» АЖ, «НКМК» ДК ва «ДТЗ» МЧЖ) марказдан қочирма-грунтли насослар ишчи ғилдираклари, барабанли тегирмонлар цилиндрлари, прокат станинаси роликларининг деталларидан қирқиб олинган намуналар, юқорихромли оқ чўян турли эритмаларининг намуналари, ҳамда «Metallmexqurilish» ХК корхонасида модели газга айланувчи қуймакорлик усули бўйича қаттиқ қотишма қопламали намуналари хизмат қиладилар.

Тадқиқотлар учун фойдаланилган намуналар кимёвий таркиби 1-жадвалда келтирилган. Мазкур жадвалда эталон сифатида, ўз хизмат муддатини ўтаган «ОКМК» АЖ, «НКМК» ДК, «ДТЗ» МЧЖда ва узоқ муддатли чидамлигини кўрсатган импортга ишлаб чиқарилган ишчи ғилдираги ва цилиндрларидан кесиб олинган намуна қабул қилинган.

## Тадқиқот қилинган қотишмаларнинг кимёвий таркиби

Чўянни эритиш русуми ва №	Элементлар таркиби, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Қолгани Fe
1. Варман ишчи ғилдираги	2,87	0,317	1,38	0,031	0,012	28,31	0,538	0,049	Cu = 0,024
2. МТМЗ иш ғилдираги	2,45	0,59	0,65	0,089	0,071	22,87	1,26	-	-
910 эритиш	3,49	0,51	0,57	0,067	0,032	28,86	1,54	0,057	Cu 0,2
939 эритиш	2,99	0,78	0,62	0,064	0,03	26,54	0,99	0,059	Cu0,26
1059 эритиш	2,92	1,35	0,33	0,036	0,035	23,0	1,16	0,053	Cu0,22
3. 300X32H2 М2ТЛ 327 эритиш	2,67	1,13	0,57	0,043	0,018	31,58	2,23	0,32	-
2 эритиш	2,59	0,71	0,78	0,03	0,03	28,17	1,11	0,2	-
4. Импортли цильпеслар	2,86	0,316	1,40	0,028	0,025	27,3	0,523	-	-
Маҳаллий цильпеслар	2,43	0,56	0,67	0,066	0,085	20,23	0,76	-	-
Стандартлар бўйича нормалар									
ТУ26-05-1484-87 стандартли	2,5-3,0	0,7-1,4	0,5-1,0	0,08	0,1	25-30	1,5-2,0	-	-
НМЗ стандарти 300X32H2М 2ТЛ	2,4-2,8	до 2,0	1,4-1,8	-	-	30-34	1,5-3,0	1,5-2,0	Ti=0,1-0,6

Намуналарнинг бир қисми, стандартли таркибдан фарқ қиладиган кимёвий таркибга эга бўлиб, у эса таркибнинг қотишма хоссаларига таъсирини аниқ кузатиб бориш имконини беради.

Оқ чўян ва ейилишга чидамли қопламалар намуналарига термик ишлов бериш лаборатория печларида, аслидан олинган буюмларга эса - текислаш тағлигига эга бўлган саноат печларида ўтказилди. Бу намуналар ўхшаш таркибга ва тузилишга эга бўлганлиги сабабли, оптимал таркиби ва термик ишлаш усулини ишлатилиши оқ чўянли намуналарда ўтказилди.

Намуналарга термик ишлов бериш қуйидагиларни ўтказишдан иборат бўлди: 1) 700<sup>0</sup>-720<sup>0</sup>С юмшоқ юмшатиш; 2) 950<sup>0</sup>С фаза қайта кристалланишидаги юмшатиш; 3) 940<sup>0</sup>, 1000<sup>0</sup>, 1100<sup>0</sup>, 1150<sup>0</sup>С қиздириш ҳароратларидаги нормалаш (тоблаш); 4) 300<sup>0</sup>, 450<sup>0</sup>, 500<sup>0</sup>, 550<sup>0</sup>, 600<sup>0</sup>С ҳароратлардаги бўшатиш; 5) икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш. Иккиламчи тоблаш. Турли ҳароратларда қиздириб, биринчи тоблашдан ва 450<sup>0</sup> ва 600<sup>0</sup>С оралиқ бўшатишдан кейин намуналар 925<sup>0</sup> - 940<sup>0</sup>С гача такрорий қиздирилди, мойда тобланди ва 300<sup>0</sup>С да бўшатишди.

Металлографик тадқиқотлар МИМ-8М ва НЕОРНОТ-21 оптик микроскопларида 100 дан 2000X гача катталаштирилиб ўтказилди. Рентгенографик таҳлил, фазадаги таҳлил ўтказиш, фазаларнинг фоизли ўзаро

муносабатларини, қотишманинг темир асосининг кристаллсимон тузилиши нуқсонининг даражасини (дислокациялар зичлигини), углерод қаттиқ эритмасининг, қотишманинг тобланган темир асосининг  $\alpha$ -темирдаги ҳолатини аниқлаш мақсадида ДРОН-2,0 дифрактометрида бажарилди.

Ишлаб чиқариш синовларини ўтказиш учун, юза иш сирти биз тавсия этган таркибдан иборат бўлган қаттиқ қотишма қопламали ерга ишлов берувчи машиналар қуйма деталларининг тажрибавий тўпи ҳамда барабанли цилиндрлар ва насослар ишчи ғилдиракларини бутунлигича биз тўғирлаган таркиб бўйича юқорихромли оқ чўяндан тайёрланди.

Иккала ҳолда ҳам бир вақтнинг ўзида икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш усулидан фойдаланиб, таклиф этилган таркиб қотишмасидан тайёрланадиган буюмлар ва сериявий ишлаб чиқариладиган буюмлар синовдан ўтказилди.

Диссертациянинг **«Юқорихромли оқ чўянлар ва қаттиқ қотишмали қопламалардан тайёрланган намуналарнинг тузилиши ва хоссаларини солиштирма тавсифини тадқиқ қилиш»** деб номланган учинчи бобида металлургия, цемент ва қишлоқ хўжалик машинасозлиги республика саноатида барабанли тегирмон цилиндрлари ва қаттиқ қотишма қопламали деталлар, марказдан қочирма-грунтли насослар ишчи ғилдираклари деталларини тайёрлаш учун юқорихромли оқ чўянлар ва қаттиқ қотишмалар структураси ва хоссаларининг солиштирма тавсифлари ўрганилган.

Кон-металлургия ва цемент ишлаб чиқаришдаги бир қатор машиналар ва ускуналарнинг, шунингдек ерга ишлов берувчи машиналар деталлари оғир абразив-коррозион ейилиш шароитларида ишлайди. Бу деталлар коррозион-ейилишга чидамли қотишмалардан тайёрланган бўлиши ёки юза иш сирти шундай қотишмадан тайёрланган қопламаларга эга бўлиши керак.

Металлургия, цемент мажмуаси ва ерга ишлов берувчи машиналарнинг узлуксиз ишлаши учун машиналар ва эҳтиёт қисмлар саройини доимий равишда янгилаб туриш зарур. Эҳтиёт қисмлар ва агрегатлар тайёрлаш учун, юқорихромли оқ чўяндан тайёрланадиган буюмлар ишлаб чиқаришга ихтисослашган кўплаб машинасозлик ва таъмирлаш-механика заводлари ишлайди. Кўпроқ ИЧХ28Н2 ва 300Х32Н2М2ТЛ маркали қотишмалардан фойдаланилади, эритма материали сифатида эса «Сормайт» ПГ-С27 қаттиқ қотишма қўлланилади. Айрим деталлар импорт бўйича сотиб олинади.

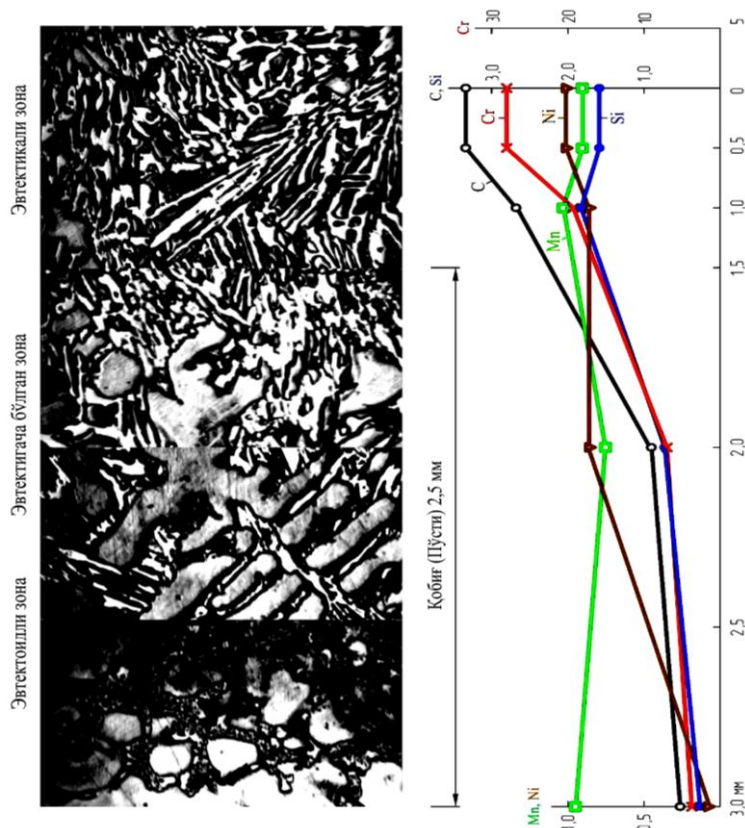
Бироқ импорт ва маҳаллий ишлаб чиқариладиган деталларнинг ейилишга чидамлилигида бир неча марта сезиларли фарқ кузатилади. Бу эса қимматбаҳо қотишмалар ва легирловчи элементлар (феррохром, Ni ва Mo – ўнлаб тонналарда) катта миқдорда ортиқча сарфланишига олиб келади.

Бундай камчиликни материалнинг ўзидаги хоссалари: кимёвий таркиби, хили ва қотишма структурасидаги фазалар миқдори, фойдаланилган термик мустаҳкамлаш турлари аниқланган бўлсагина бартараф этиш мумкин.

Тадқиқот қилинаётганлари сифатида «ОКМК» АЖ қошидаги МТМЗ (№939 ИЧХ28Н2 оқ чўян) ва «НКМК» ДК қошидаги НМЗ (№327 300Х32Н2М2ТЛ оқ чўян) маҳаллий ишлаб чиқариладиган насоснинг ишчи ғилдирагидан кесиб олинган намуналар таркиби олинган 1-жадвал. Мазкур

чўянларнинг структуралари эвтектикали, қаттиқлиги HRC бўйича Warman (57), ИЧХ28Н2 (51), 300Х32Н2М2Т (48), карбидлар хили  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  32%, (35), (36) ва қолдиқ аустенит % (12), (23), (24) ҳамда дислокациялар зичлиги  $\rho \cdot 10^{11}$   $1/cm^2$  (2,26), (0,5), (05). Олтингугурт таркиби 0,03% дан ошмаслиги керак.

*Қаттиқ қотишмали қоплама.* «Сормайт» ПГ-С27 хилидаги кукунсимон қаттиқ қотишма таркиби, ўз таркиби бўйича ЧХ28Н2 русумли оқ чўяннинг таркибига яқин. Ушбу ҳолатда углерод, никель таркиби чегараланган миқдорда ва деярли вольфрамсиз ( $C=3,0-3,2$ ;  $Ni=0,9-1,2$ ) қаттиқ қотишмали кукун тўпи танлаб олинди. Қаттиқ қотишма қопламали намуналар ва деталлар модели газга айланувчи усул бўйича қуйиб олинди. Бироқ қопламанинг кимёвий таркиби ва тузилиши чуқурлиги бўйича бир хил эмас эди, қатлам қалинлиги эса – 2-3 мм. Намуналар юзасида юқорихромли оқ чўяннинг эвтектикали тузилиш зонаси ҳосил бўлади, ундан сўнг чуқурлиги бўйича эса углеродланган асосий металл структурага айланадиган (1-расм) эвтектикагача бўлган зона ва эвтектоидли зона келади.



**1-расм.** Намуналарнинг юзасида юқорихромли оқ чўяннинг эвтектикали тузилиш зонаси ҳосил бўлади ва ундан кейин чуқурлиги бўйича асосий металл тузилмасига айланувчи эвтектоидгача ва эвтектоидли зоналар келади.

Юқорида кўриб чиқилган чўянлар ва қотишмаларнинг ейилишга синовлари учун махсус намуналар тайёрланди. Барча намуналарнинг ишқаланиш юзаси бир хил ғадир-будурликка - 0,63 эга бўлди. Ҳар бир намунанинг ишқаланувчан юза сиртини шнекли валик билан мулоқотда бўлиши борасида 30 дақиқадан олти мартагача синовлар ўтказилди.

Абразив ейилишга синовлар натижалари 2-жадвалда келтирилган. Синовлар ейилиш катталигининг тузилиш қаттиқлиги ва параметрларига умумий боғлиқлигини кўрсатди. «ОКМК» АЖ қошидаги МТМЗда маҳаллий ишлаб чиқариладиган насоснинг ишчи ғилдирагидан кесиб олинган намуналар – бундан истисно. Бу намуналарнинг ейилиш катталиги, синовнинг биринчи 30 дақиқасидан кейин Warman оқ чўянининг ейилишидан деярли уч марта ошиб кетди. Ушбу ҳолатда МТМЗ насоси оқ чўяни таркиби бўйича ТУ26-06-1484-87 биноан ИЧХ28Н2 русумга мос келади. Бироқ, тез ейилишини сабаби – чўяннинг тузилишида мавжуд бўлган марганец ва темир сульфидлари саналади. Демак, қотишмадаги олтингугурт микдори, техник шартлар назарида тутилганига қараганда 0,1% кам бўлиши керак.

2-жадвал

ПВ-7 ишқаланиш машинасида синов ўтказганда намуналарнинг ейилиш микдори

№№ т/р	Умумий синов вакти, мин	Намунанинг тури ва қотишманинг русуми				
		Warman	ИЧХ28Н2	300Х32Н2М2Т	Импорт цельпеслар	Қаттиқ қотиш-мали қоплама
Ҳар 30 дақиқадаги ейилиш синови, мг						
1.	30	0,6	1,5	0,9	0,7	0,9
2.	60	0,4	0,9	0,7	0,5	0,7
3.	90	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5
4.	120	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
5.	150	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
6.	180	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
HRC қаттиқлиги		58	51	50	55	49

Учинчи бобда тақдим этилган тадқиқотлар натижаларининг таҳлили, қуйидаги хулосалар қилиш имконини беради:

термик ишлов бериш жараёнида фаза алмашувларининг тўлиқ ўтишини таъминлаш мақсадида юқорихромли оқ чўян ва эритма материаллари таркибини тўғирлаш зарурияти юзага келади. Бу талаб этилаётган тузилишлар ва ейилишга чидамликка эришишни қўшимча легирлаш ҳисобига эмас, балки термик ишлов беришнинг, шу жумладан ноанъанавий режимдан фойдаланиб эришиш мумкин. Қотишмада олтингугурт таркибининг пасайиши мажбурий шарт ҳисобланади;

юқорихромли оқ чўяннинг зарурий кимёвий таркиби (тўғирланган таркиби) белгилангандан сўнг, қотишманинг максимал ейилишга чидамлигини таъминлайдиган термик жиҳатдан ишлов бериш режимларини ишлаб чиқиш бўйича бир эритиш негизда тадқиқотлар ўтказиш мақсадга мувофиқ саналади. Оқ чўянни эритиш таркиби эритиш материалининг таркибига шундай яқин бўлиши керак-ки, бунда барча тажрибаларни мазкур чўян намуналаридагина ўтказиш мумкин бўлади.

Диссертациянинг «**Юқорихромли оқ чўяннинг оптимал таркиби ва термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқиш**» деб номланган тўртинчи бобда юқорихромли оқ чўян ва эритма материалининг иқтисодий-легиранган



таркиби ҳамда термик ишлаш режимларини ишлаб чиқиши келтирилган. Бундай таркиб танланганда, легирловчи элементлар юқорихромли оқ чўянли қуймани талаб этиладиган учидан тобланишини таъминлаши, бироқ қиздирилганда ва совутилганда фазавий алмашувларнинг ўтишини қийинлаштириб юбормаслиги керак эканлигидан келиб чиқилган.

Фаза ва структура алмашувининг тўлиқлигини кўрсатувчи мезонлардан бири, механик ишлашни яхшилаш учун оқ чўян қуймаси қаттиқлигини ўзгартириш саналади. Оралиқ юмшатишни иккита варианты фойдаланилган: 1-юмшатиш 900<sup>0</sup>С гача қиздириб фаза қайта кристалланмасдан ва печь билан бирга совутиш орқали; 2-юмшатиш 700-720<sup>0</sup>С гача қиздириб фаза қайта кристалланишисиз ва печь билан бирга совутиш орқали фойдаланилди. Фаза қайта кристалланиш билан 700-720<sup>0</sup>С ҳароратда юмшатиш анча барқарор натижаларни кўрсатди.

Ўтказилган тажрибаларнинг таҳлили юмшоқ юмшатувчининг самарадорлиги оқ чўяннинг таркибига қараб турлича бўлади. Юмшатишга барқарорлик кўшимча (хромдан ташқари) легирловчи элементлар (Ni, Si, Mn, Mo) фоизий таркибининг катталаштирилиши билан ортади. Юмшатганда қуйма қаттиқлигини пасайтириш мақсадида 4,5-5,5% интервал билан C, Si, Mn, Ni элементларнинг умумий таркибини (Mo чиқариб ташлаб) чегаралаш мақсадга мувофиқ бўлди (3-жадвал).

910, 1059, 327 эритувчилар намуналарининг фазадаги рентген тузилиш таҳлили юмшатишдан сўнг қолдиқ аустенитнинг мавжудлигини аниқлаб берди. Бу қолдиқ аустенит, ҳатто ҳароратларнинг субкритик интервалида қиздириш шароитида ҳам парчаланишга юқори чидамлилигидан дарак беради.

3-жадвал

Оқ чўянларда C, Si, Mn элементларининг кимёвий таркиби, умумий таркиби ва юмшоқ юмшатишдан сўнг намуналар қаттиқлигининг ўзгариши

Эритиш, намуна	Элементларнинг таркиби ва умумий таркиби %						HRC қаттиқлиги		Δ HRC юмшатишдан кейинги фарқи	
	C	Ni	Mn	Si	Cr	Mo	Σ C+ Ni+Si+ Mn %	юмшатиш-гача		юмшатишдан кейин
Warman	2,81	0,538	1,38	0,317	28,31	-	4,6	57	44	13
МТМЗ	2,45	1,26	0,65	0,59	22,87	-	4,87	50	43,5	6,5
910 эритиш	3,49	1,54	0,57	0,51	28,86	-	6,11	50	49,66	0,34
939 эритиш	2,89	0,99	0,62	0,78	26,54	-	5,38	53,5	42,7	10,8
1059 эритиш	2,92	1,16	0,33	1,35	23,01	-	5,76	55	51	4
327 эритиш	2,67	2,23	0,57	1,13	31,58	0,37	6,6	49	48	1

Юмшатишдан сўнг ишчи ғилдираклар ва цилиндрлар қаттиқлигини ва ейилишга чидамлилигини кескин тарзда ошириш мақсадида, мустаҳкамловчи термик жиҳатдан (тоблаш ва бўшатиш) ишлов берилиши керак.

Мустаҳкамловчи термик ишлов бериш тажрибаларини ўтказиш учун, анча паст никель (ва молибденсиз) таркибли ИЧХ28Н2 юқорихромли оқ чўян негизидаги таркиб танлаб олинган. Ушбу чўяннинг таркиби С, Si, Mn, Ni 4,5-5,5% йиғиндисини чегаралаш талабларига жавоб беради ва «ОКМК» АЖ қошидаги МТМЗ да маҳаллий ишлаб чиқариладиган 939-эритиш таркибига: % С=2,8; Si=0,7; Mn=0,65; Ni=1,0; Cr=27,0; S,P=0,03 яқиндир.

Юқори даражада ейилишга чидамликка металл асосидаги оқ чўянда мартенсит ва бейнит структуралари ҳосил қилинганда эришилади. Металл асоси мартенситли ёки бейнитли структурада тобланганда, хромнинг майда карбидлари Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> и Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> сақланиб қолиши мумкин. Энг юқори ейилишга чидамликка, агар қотишманинг мартенсит матрицаси дислокацияларнинг максимал юқори зичлигига эга бўлса эришиш мумкин. Бунга икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш натижасида эришилади. Юқори углеродли юқорихромли қотишмалар учун бундай тарзда термик ишлов бериш аввал фойдаланилмаган.

Мазкур тадқиқотларда юқорида қайд этилган таркибли юқорихромли оқ чўяннинг намуналарига икки вариант бўйича термик ишлов берилган.

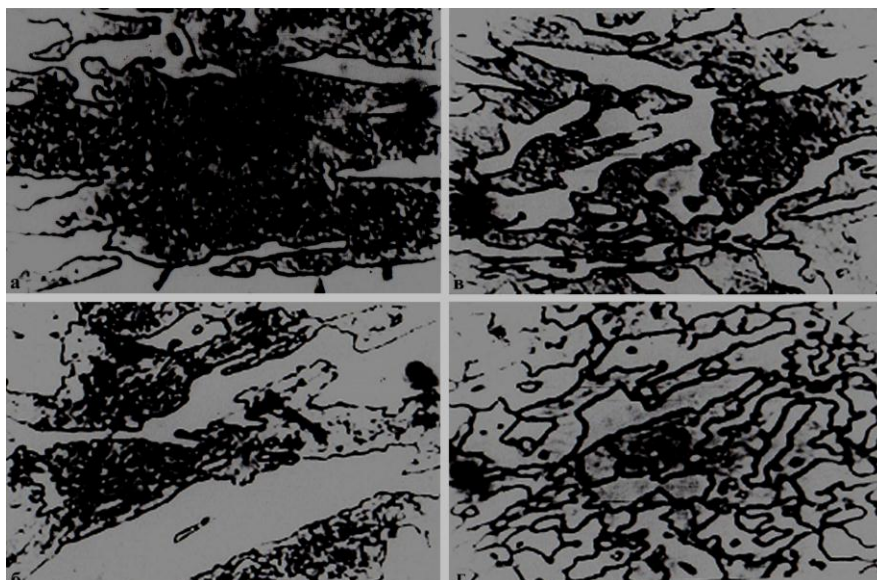
Биринчи вариант бўйича тоблаш турли ҳароратларгача – 925<sup>0</sup>; 1000<sup>0</sup>; 1100<sup>0</sup>; 1150<sup>0</sup>С қиздирилиб ўтказилди. Мазкур тадқиқотларнинг мақсади – совитилган пайтларда α-фазада дислокацияларнинг энг юқори даражаси шаклландиган, экстремал тоблаш ҳароратини аниқлашдан иборатдир.

Иккинчи вариант бўйича турли қиздириш ҳароратларида тоблангандан сўнг, 600<sup>0</sup>С ҳароратда оралик бўшатиш ўтказилган, барча намуналарни бир вақтнинг ўзида иккинчи тоблаш эса мойда совутилиб, 925<sup>0</sup> - 940<sup>0</sup>С қиздириш ҳарорати остида ўтказилди. Яқунловчи термик ишлов бериш 300<sup>0</sup>С қиздириш ҳароратида бўшатиш бўлган.

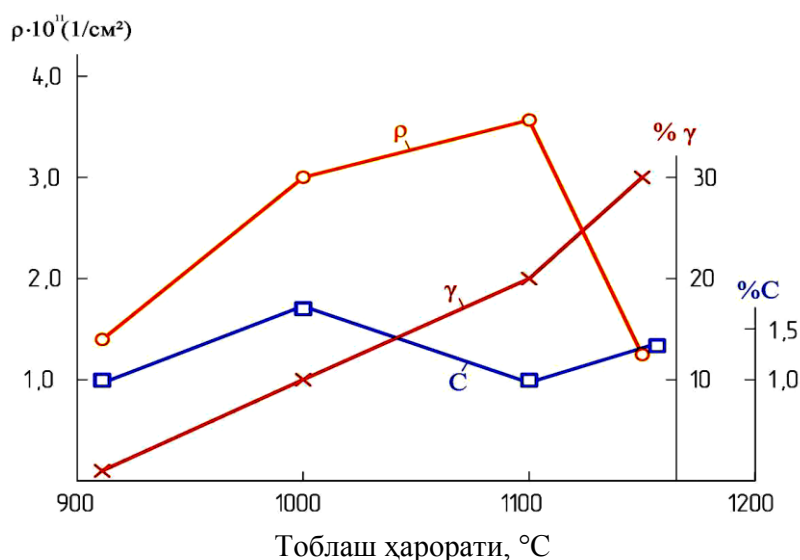
Биринчи вариант бўйича намуналарни қиздириш ҳарорати оширилиб, термик ишлов берилганда ва кейинги тоблашларда, қаттиқ эритмада иккиламчи карбидларнинг эриши кузатилади (2-расм). Тоблаб совутилгандан сўнг металл асоси юқори углеродли мартенситни намоён этади. Қаттиқлик HRC=57,3-62,3-64-64 ортади, бироқ қолдиқ аустенитнинг миқдори катталашади (3-расм).

Дислокациялар зичлиги 1100<sup>0</sup>С тоблаш ҳароратида максимал қийматга эга бўлади. Warman оқ чўянининг кристаллсимон тузилиши дислокацияларининг зичлиги  $\rho=2,36 \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$ , ИЧХ28Н2 чўянники эса –  $\rho=0,5 \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$ . 1100<sup>0</sup>С ҳароратда минимум ҳосил қилиб тоблаш ҳароратининг кўтарилиб бориши билан мартенситнинг тетрагонал панжарасида углероднинг миқдори ҳам ортади.

Таклиф этилаётган таркибли юқорихромли оқ чўяннинг кристаллсимон тузилишида дислокациялар қаттиқлиги ва зичлигининг юқори қийматлари юқорида кўрсатиб ўтилган С + Si + Mn + Ni элементларининг йиғиндиси қоидаси бўйича уни тўғри танланганлигидан дарак беради.



2-расм. Турли хароратларда а-925<sup>0</sup>С; б-1000<sup>0</sup>С; в-1100<sup>0</sup>С; г-1150<sup>0</sup>С тоблангандан сўнг 939 эритмага яқин оқ чўян намуналарининг микроструктуралари Х2000



3-расм. 939 эритма юқорихромли оқ чўяннинг структура параметрларини тоблаш ва 300<sup>0</sup>С бўшатишга боғлиқлиги: ρ - дислокациялар зичлиги; γ - қолдик аустенит; C - тетрагонал панжарадаги углерод.

Барабанли тегирмон цилиндрлари ва насослар ишчи ғилдираклари HRC = 50÷60 қийматларда юқори қаттиқликка эга. Бироқ 300<sup>0</sup>С да бўшатишда қаттиқлик пасаяди.

Термик ишлов бериш экспериментал натижаларининг таҳлили асосида, биринчи вариант бўйича қуйидаги хулосага келиш мумкин:

1. 939 эритмага ўхшаш таркибли 925 - 1000<sup>0</sup>С қиздириш хароратига эга оқ чўян тобланганда 300<sup>0</sup>С бўшатишдан сўнг металл асосининг α-фазадаги дислокациялар зичлигининг даражаси, Warman чўянидаги даражага мос келади. Дислокацияларнинг энг юқори зичлиги 1100<sup>0</sup>С қиздириш харорати билан тоблангандан сўнг ҳосил бўлади;

2. 1000<sup>0</sup>С ортиқ тоблаш ҳароратининг ошиши, структурада ейилишга чидамлилигини пасайтирадиган қолдиқ аустенит миқдорининг ортишига олиб келади;

3. Оқ чўян ва қоплама материалининг энг истиқболли таркиби – қуйидаги таркибли никель, кремний ва олтингугурт, молибденсиз, вольфрам, титаннинг пасайтирилган таркиби ҳисобланади (4-жадвал).

4-жадвал

Оқ чўян ва қоплама материалининг энг истиқболли таркиби

Элементлар	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
таркиби, %	2,5-3,0	0,4-0,8	0,5-1,0	0,03 гача	0,03 гача	25-30	0,5-1,0

Биринчи вариант бўйича термик ишлов бериш 925 - 1000<sup>0</sup>С тоблаш (нормаллаш) қиздириш ҳарорати ва 300<sup>0</sup>С бўшатишни ўз ичига олиши керак.

Иккинчи вариант бўйича икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов беришни ўз ичига олади. Мазкур термик ишловнинг мақсади - 1100<sup>0</sup>С қиздириш ҳарорати билан биринчи марта тоблаб олинган дислокацияларни юқори зичлигини сақлаб қолиш; 920<sup>0</sup>С иккинчи тоблашдан сўнг қолдиқ аустенит миқдори пасаяди. Ички кучланишлар ва қаттиқликни пасайтириш учун 300<sup>0</sup>Сда бўшатиш яқунловчи операция ҳисобланади.

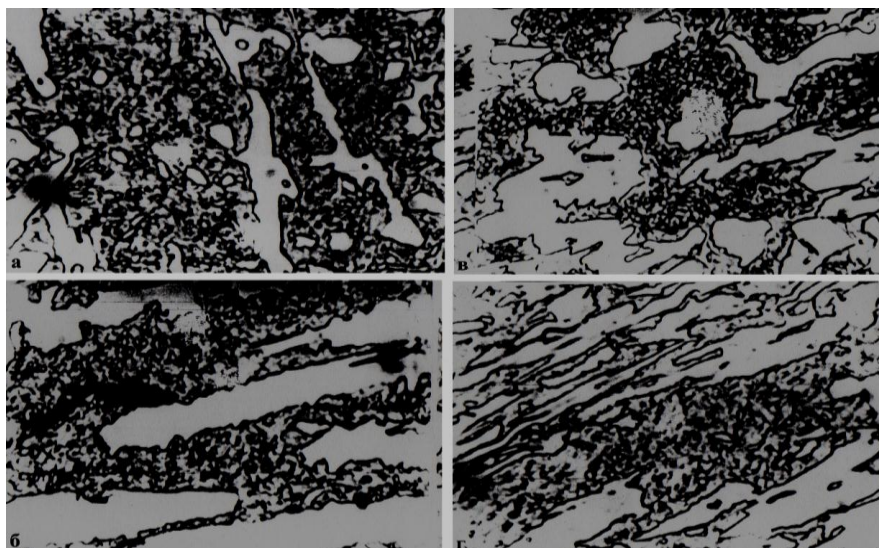
Мазкур тадқиқотларда тавсия этилаётган таркибнинг юқорихромли оқ чўяннинг намуналари биринчи вариант бўйича турли ҳароратларда қиздирилди. Тобланган намуналар бир вақтнинг ўзида 600<sup>0</sup>Сда бўшатилади. Бўшатиладиган намуналар шунингдек бир вақтнинг ўзида 925<sup>0</sup>С гача битта печда қиздирилди ва мойда тобланди (совутилди).

Термик ишлов берилган намуналар металлография, рентгеноструктура ва бошқа таҳлиллардан ўтказилди. Тадқиқотлар натижалари 5-жадвалда ва 4-расмда келтирилган.

5-жадвал

Иккинчи тоблашнинг қиздириш ҳарорати 925<sup>0</sup>С билан 300<sup>0</sup>С да бўшатиш

Биринчи тоблаш ҳарорати, <sup>0</sup> С	HRC қаттиқлиги	Дислокациялар зичлиги, $\rho \cdot 10^{11} 1/\text{см}^2$	Қолдиқ аустенит миқдори, %	Тетрагонал панжарада углероднинг миқдори (бўшатгунча), %
925	57	0,89	10% гача	1,5
1000	59	1,96		1,5
1100	61	3,34		1,0
1150	60	3,09		1,1



**4-расм. Икки марта тоблаш ва 300<sup>0</sup>С бўшатишдан кейин, 939 га яқин эритмадаги оқ чўяннинг микроструктуралари. Биринчи тоблаш қиздириш ҳароратлари билан 925<sup>0</sup>С (а), 1000<sup>0</sup>С (б), 1100<sup>0</sup>С (в), 1150<sup>0</sup>С (г), оралик бўшатиш 600<sup>0</sup>С, иккинчи тоблаш қиздириш ҳароратлари билан 925<sup>0</sup>С, бўшатиш 300<sup>0</sup>С. Х2000**

5-жадвалда келтирилганидек, такрорий фаза қайта кристалланишда, биринчи марта тобланганда олинган дастлабки субструктура элементлари томонидан насл қилиб олиш шароитларида яққол кўзга ташланиб туради. 1100<sup>0</sup>Сда экстремум ҳосил қилиб биринчи тоблаш ҳароратининг ортиши билан дислокациялар зичлигининг ошиши сезилади.

1100<sup>0</sup>С и 1150<sup>0</sup>С қиздириш ҳарорати билан биринчи марта тобланган намуналарнинг микроструктураси, майда иккиламчи карбидларнинг мавжудлиги билан ажралиб туради.

Шундай қилиб, биринчи қиздиришда экстремал ҳароратгача қиздиришдан фойдаланиб икки марта фаза қайта кристалланиш, иккиламчи карбидларнинг майда қўшилмалари мавжуд бўлганда, қотишмани ейилишга чидамлилигининг юқори даражасини таъминлаши мумкин (4-расм).

Термик ишлов беришнинг иккинчи варианты бўйича олинган таҳлиллар натижалари асосида қуйидаги хулосага келиш мумкин:

1. Икки марта фаза қайта кристалланишда юқорихромли оқ чўянларга термик ишлов берилганда, бошланғич ҳолатдаги юпқа структуранинг параметрларини мерос қилиб олиш самараси кузатилади;

2. Экстремал қиздириш ҳароратлар билан дастлабки термик ишлов беришда яратилган дислокацияларнинг юқори зичлиги, яқунловчи тоблаш ва бўшатишдан кейин сақланиб қолади;

3. Тобланган қотишмадаги углерод атомларининг катта қисми, уларнинг маҳкамланишига шарт-шароит яратиб дислокацияларда бўлади;

4. Икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов беришда, қолдиқ аустенитнинг таркиби минимал бўлганда юқорихромли оқ чўяннинг металл асоси тоблаш тузилишининг ҳосил бўлишига шарт-шароит яратади.

**Диссертациянинг «Ейилишга бардошли ишлаб чиқилган юқорихромли қотишмалар оптимал таркибини ва термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқариш корхоналарига жорий этиш натижалари»**

деб номланган бешинчи бобида турли термик ишлаш режимларидан кейин юқорихромли оқ чўянлар ва қаттиқ қотишмали қопламаларнинг ейилишга чидамлиги, «Таркиб-термик ишлаш» оптимал вариантыни танлаш ва уларни амалга ошишига тегишли бўлган тадқиқот натижалари тақдим этилган.

Чўянни термик ишлаш режимлари 4-бобда тақдим этилган тадқиқотлар натижаларига биноан фойдаланилган. Аввал кўрсатиб ўтилгандек, эталон намуна сифатида Warman фирмасида импорт бўйича ишлаб чиқариладиган насос оқ чўянининг етказиб бериладиган намуналари танлаб олинди. Бу Warman насоси узоқ хизмат кўрсатиш муддатига эга эканлиги билан боғлиқ.

Синов объектлари сифатида ҳамда термик ишлов бериш режимлари ва бир неча вариантли таркибли намуналардан фойдаланилди (6-жадвал).

6-жадвал

Юқорихромли оқ чўянлар намуналарининг структура параметрлари, хоссалари ва ейилишга синовларининг натижалари

№№ п/п	Қотишма, термик ишлов бериш	HRC каттиқлиги	Дислокациялар зичлиги $\rho \cdot 10^{11} 1/\text{см}^2$	Қолдиқ аустенитнинг микдори, %	Ейилишнинг катталиги, мг
1 - Ишчи ғилдиракли намуналар, Warman					
а)	Етказиб бериш ҳолати	57	2,36	11,5	0,6
б)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С	46	-	йўқ	1,0
в)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1000 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	59	-	10	0,6
2 - Ишчи ғилдиракли намуналар, ИЧХ28Н2 S=0,07%					
а)	Етказиб бериш ҳолати	51	0,5	23,0	1,5
б)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1000 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	59	-	-	0,8
3 - 327 эритиш намуналари (НМЗ), 300Х32Н2М2ТЛ					
а)	Қуйма намунани бўшатиш 570 <sup>0</sup> С	49	-	44	0,85
4 - 939 га яқин эритиш намуналари, бевосита тоблаш					
а)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1000 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	59	3,12	6,7	0,6
б)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1100 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	56,5	4,12	13,2	0,6
в)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1150 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	55	1,3	20,0	0,8
5 - 939 га яқин эритиш намуналари, икки марта фаза қайта кристалланиш					
а)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1100 <sup>0</sup> С, бўшатиш 600 <sup>0</sup> С, тоблаш 940 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	60	3,34	6,7	0,4
б)	Юмшатиш 700 <sup>0</sup> С, тоблаш 1150 <sup>0</sup> С, бўшатиш 600 <sup>0</sup> С, тоблаш 940 <sup>0</sup> С, бўшатиш 300 <sup>0</sup> С	59	3,09	6,7	0,5

Ейилишга синовлар натижаларининг таҳлили, термик ишлов бериш режимларининг юқорихромли оқ чўяннинг ейилишга чидамлилигига яққол

таъсирини кўрсатди, бу эса 4-бобда кўриб чиқилган термик ишлов берилганда структура параметрларининг ўзгаришларига тўлиқ мос келади.

Оқ чўян ўз таркибида олтингугурт юқори эканлигини ва энг ёмон ейилишга чидамлилигини кўрсатган МТМЗ (ИЧХ28Н2) маҳаллий ишлаб чиқариладиган ишчи ғилдиракдан кесиб олинган намуналарнинг синов натижалари шу муносабат билан қизикдир. Мазкур намуна етказиб берилган ҳолатда HRC 51 қаттиқликка эга эди, унинг тузилишидаги аустенит қолдиғи эса 23% ташкил этди. Бу намунани 700<sup>0</sup>С юмшатгандан, 1000<sup>0</sup>С тоблагандан ва 300<sup>0</sup>С бўшатгандан сўнг, етказиб берилган ҳолатдагига қараганда деярли икки марта ортиқ ейилишга бардошликка эга бўлди. Бироқ ейилиш катталиги олтингугурт таркиби юқори бўлганлиги учун анча катта бўлиб қолди.

Оқ чўян намуналари турли ҳароратларда тоблангандан сўнг 939 эритма таркибининг натижалари, 1000<sup>0</sup>С қиздириш ҳарорати билан тоблангандан ва 300<sup>0</sup>С бўшатиладигандан сўнг етарли даражада ижобий бўлишини кўрсатди; чўян металл асоси дислокациялари зичлиги даражасининг қаттиқлиги, шунингдек ейилиш катталиги Warman фирмасида импортга ишлаб чиқариладиган чўяннинг параметрларига аниқ мос келади.

Икки марта фаза қайта кристалланиш (иккиламчи тоблаш оралик бўшатиш билан) термик ишлашдан фойдаланиш бўйича тажриба натижалари кўпроқ қизиқиш уйғотади. Бундай ҳолда ейилиш катталиги етказиб берилган ҳолатда импортга ишлаб чиқариладиган Warman фирмаси чиқарадиган чўянга қараганда пастроқ бўлади.

Умуман олганда, синалган оқ чўянларнинг ейилиш миқдори ва қаттиқликлари ўртасидаги етарли даражадаги узвий боғлиқлик кузатилди.

6-жадвалда келтирилган синовлар натижаларининг таҳлили ИЧХ28Н2 ва 300Х32Н2М2ТЛ русумли чўянлардан тайёрланадиган қўймаларнинг қаттиқлиги ва ейилишга чидамлилиги тайёр деталларни етказиб бериш ҳолатида етарли эмас эканлиги ҳақида хулосага келиш имконини беради. Қўйма тайёрланмалар термик ишлов берилмасдан ҳам HRC = 49-51 термик жиҳатдан ишлов бериш режимларидан сўнг ҳам етарли даражадаги юқори қаттиқликка эга, ейилишга чидамлилиги эса етарли эмас.

Юқорихромли оқ чўян ва қоплама материалнинг оқилона легирланган таркибини танлаш, термик ишлов беришни зарурий фазадаги ва тузилишли айланишлар билан тўлиқ ўтказиш термик ишловларнинг барча афзалликларидан фойдаланиш имконини беради: қўйма деталларга механик ишлов бериш учун қаттиқликни пасайтиради; металл асосини мартенситга тоблангандан (нормаллангандан) сўнг қаттиқлигини ва ейилишга чидамлилигини сезиларли даражада оширади ва қолдиқ аустенит миқдорини пасайтиради.

Турли вариантларда термик ишлов берилгандан сўнг юқорихромли оқ чўян ва ҳар хил таркибли қоплама материалларининг намуналарини ейилишга бўлган синовлари оқ чўянни тавсия этган таркибидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ эканлигини тасдиқлади, %: C=2,5-3,0; Si=0,4-0,8; Mn=0,5-1,0; S,P=0,03; Cr=25,0-30,0; Ni=0,5-1,0; бунда  $\Sigma C+Si+Mn+Ni=4,5-5,5\%$ .



Термик ишлов беришнинг тавсия этилаётган режимларидан (юмшатиш 700<sup>0</sup>С, тоблаш 1000<sup>0</sup>С, бўшатиш 300<sup>0</sup>С) ва (юмшатиш 700<sup>0</sup>С, тоблаш 1100<sup>0</sup>С, оралик бўшатиш 450<sup>0</sup>-600<sup>0</sup>С, тоблаш 940<sup>0</sup>С, бўшатиш 300<sup>0</sup>С) танланди.

*Биринчи* такомиллаштирилган вариант - тоблаб қиздирилганда иккиламчи карбидларнинг қаттиқ эритмада тўлиқ эриб кетишини таъминлайди, бироқ тоблаб совутилганда қолдиқ аустенит миқдорининг кескин ортишига йўл қўймайди. *Иккинчи* вариант икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш юқорихромли оқ чўянлар учун ҳеч қачон қўлланилмаган. Ушбу термик ишлов бериш режими, Warman фирмаси томонидан импортга ишлаб чиқариладиган оқ чўянга қараганда анча юқори ейилишга чидамлилигини (30% га) таъминлайди.

*Ейилишга бардошли қаттиқ қотишмали қопламалар синовлари.* Ейилишга бардошли қаттиқ қотишмали намуналар газланувчи моделлар бўйича қуйиб олинган. Пеномоделнинг юза ишчи сиртига «Сормайт» ПГ-С27 хилидаги қаттиқ қотишма кукунидан ташкил топган паста ва боғловчи суркалган. Кукуннинг таркиби шундай танлаб олинганки, бунда углерод, кремний ва никель таркиби пасайтирилган бўлган ва 939 эритма юқори хромли оқ чўянни таркибига мос бўлган, вольфрам эса 0,2% кам бўлган.

Ейилишга синов натижалари структура параметрларини ўзгартириш маълумотларига мос келади. Агар қаттиқ қотишмали қопламали намуналар ва деталларни эритгандаги каби термик ишлов берилмасдан эталон сифатида қабул қилинадиган бўлса, унда термик ишлаш қаттиқ қотишмали қопламани ейилишга бардошлилигини деярли 1,5 га (50%), икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишланганда эса ейилиш бардошлилигини ва узоқ муддат ишлашини деярли 2 баравар (100%) оширади, деган хулосага келиш мумкин.

Юқорихромли оқ чўяннинг тавсия этилаётган таркиби ва термик ишлаш усули «ДТЗ» МЧЖда амалга оширилди. Бу завод бир йилда 720 000 дона цилиндр ишлаб чиқаради. Модели газга айланувчи ва янги ноанъанавий термик ишлаш режимлари бўйича қуйилганда қаттиқ қотишмали қопламалар эритиб қопланадиган ишчи юза сиртларига киритиш усуллари «Metallmexqurilish» ХК ва «Ўзметкомбинат» АЖ амалга оширилди.

Синов натижалар таҳлили шуни кўрсатди-ки, «ДТЗ» да тайёрланган кимёвий таркиби тавсия этилаётган таркибга мос келадиган цилиндрларга икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов берилгандан сўнг, хизмат кўрсатиш муддати импортга ишлаб чиқарилганларга қараганда 1,5 мартага (50% га), яъни 350-400 соатга қарши 600-724 соатни ташкил этди.

Тавсия этилаётган юқорихромли оқ чўяннинг кимёвий таркибини ва икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов бериш режимини «ДТЗ» МЧЖда ишлаб чиқаришга жорий этилиши аслида 86 400 000 сўмлик иқтисодий самара берди, кутилаётган самара эса - 144 000 000 сўм.

Тавсия этилаётган кимёвий таркибни ерга ишлов берувчи қишлоқ хўжалиги машиналари ва металлургия ускуналарининг қуйма деталларининг юза ишчи сиртларига қаттиқ қотишмали қопламани қоплаш технологиясини «Metallmexqurilish» ХК ва «Ўзметкомбинат» АЖ га ишлаб чиқаришига жорий этилаётганда анча юқори кўламли ишлар бажарилди.



Ерга ишлов берувчи машиналар ишчи органлари қўйма деталларининг дала синовлари ўтказилди. Масалан, борона тишлари, наральниклар, культиватор лапалари, чизеллаш культиваторининг лапалари Ўзбекистон Республикасининг деярли барча вилоятларида (районларида) синаб кўрилди.

Қиёсий натижалар олиш учун, турли ишлаб чиқариш корхоналари, яъни Россия, «Чирчиқ қишлоқ хўжалик техникалари заводи» АЖ, «Агрегат заводи» АЖ ва бошқа заводларнинг узлуксиз ишлаб чиқариладиган деталлари ҳамда икки марта фаза қайта кристалланиш термик ишлов беришдан сўнг (деталларнинг тажриба тўпи) тавсия этилган қаттиқ қотишма қопламали қўйма деталлар синовдан ўтказилди. Синов натижалари, тажриба тўпи қўйма деталларининг ейилишга бардошлилиги, маҳаллий узлуксизларига қараганда 3,5 бараварга ва Россия узлуксизларига нисбатан 1,6 марта (250-260%) юқори эканлигини кўрсатди.

Мазкур технология «Metallmexqurilish» ХК корхонасига ишлаб чиқариш 95 388 204 сўмлик ҳақиқатан иқтисодий самара билан, кутилаётган иқтисодий самара эса 190 776 408 сўм билан ва «Ўзметкомбинат» АЖ га 65 466 505 сўмлик ҳақиқатан иқтисодий самара билан жорий этилди, кутилаётган иқтисодий самара эса 78 933 010 сўмни ташкил этди.

Ушбу ишни бажариш билан боғлиқ бўлган умумий иқтисодий самара қуйидагиларни ташкил этади:

ҳақиқатан  $86\,400\,000 + 95\,388\,204 + 65\,466\,505 = 247\,254\,709$  сўм;

кутилаётган  $144\,000\,000 + 190\,776\,408 + 78\,933\,010 = 413\,709\,418$  сўм.

## ХУЛОСА

«Ейилишга бардошли қопламалар ва деталларни тайёрлаш учун модели газга айланувчи қўймакорлик усули бўйича юқорихромланган қотишмаларни легирлаш ва термик ишлов бериш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган илмий-тадқиқотлар натижасида қуйидаги асосий хулосалар тақдим этилди:

1. Юқорихромли оқ чўяндан ва қаттиқ қотишмали қопламадан қўйма деталлар тайёрлаш учун ейилишни керакли даражада таъминлайдиган таркиб ва технология ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар ейилишбардош қопламалар ишлаб чиқишда муҳим аҳамият касб этади.

2. ИЧХ28Н2 ва 300Х32Н2М2ТЛ қотишмаларида кремний, марганец, никель таркибларининг камайтиришда, молибден, вольфрам, титан таркибларини йўқотиш ва олтингугурт таркибини 0,03% гача пасайтириш технологияси ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар қотишмаларнинг кимёвий таркибини оптималлаш имконини беради.

3. Термик ишлов берилганда фазавий алмашувларининг тўлиқлигини ва қотишманинг талаб этилаётган структураси ва хоссаларини таъминлайдиган режимлар ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар юқорихромли оқ чўяннинг ва қоплама материалларининг таркибидаги С+Si+Mn+Ni элементларининг умумий миқдорини 4,5-5,5% интервалида бўлишини таъминлаш учун хизмат қилади.

4. Структураси эвтектикали, металл асоси мартенсит ва бейнитли юқорихромли оқ чўян ва қоплама материалнинг таркибида марганецнинг ошишини, олтингургуртнинг миқдорини эса камайтиришни таъминлайдиган режим ишлаб чиқилди. Олинган натижалар керакли структурага эга бўлган қотишмалар олишда муҳим аҳамият касб этади.

5. Деталлар газланувчи моделлар усулида қуйилганда қаттиқ қотишмали қопламанинг ҳосил қилиш механизми ишлаб чиқилди. Олинган натижалар енгил эрувчан қаттиқ қотишма ва суюқ эритма билан ўзаро боғланишлар ҳосил қилишда муҳим аҳамият касб этади.

6. Юқорихромли қотишмалар учун биринчи марта, термик ишлов бериш ўтказилганда қиздириш ва совутиш жараёнидаги фаза ва структура алмашувларининг хусусиятларини оптималлаш режимлари ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар керакли структурага эга қотишмалар олишда муҳим аҳамият касб этади.

7. Дислокациялар зичлигининг юқори даражаси насллиги мерос қилиб олинишда мартенситнинг тетрагонал позицияларидан углерод атомларининг ўтишини таъминлайдиган режимлар ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар юқори зичликдаги қотишмалар олишда муҳим аҳамият касб этади.

8. Импортга ишлаб чиқарилган Warman деталлари (ишчи ғилдираклар, цилиндрлар) ейилишга чидамлилигини таъминлайдиган, термик ишлов беришда олинган юқорихромли оқ чўянни структура параметрларига боғлиқ графиги ишлаб чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар турли шаклдаги деталлар олишда муҳим аҳамият касб этади.

9. Юқори ишқаланиш шароитида ишлайдиган деталларнинг ейилишга чидамлилигини 30% га ошишини таъминлайдиган қотишманинг кимёвий таркиби ва термик ишлов бериш усуллари чиқилди. Бу соҳадаги тадқиқотлар ейилишбардош қотишмалар ишлаб чиқишда муҳим аҳамият касб этади.

10. Газланувчи моделлар бўйича тавсия этилаётган таркибда ерга ишлов берувчи машиналар ишчи органлари деталларини сормайт ПГ-С27 хилидаги ейилишга чидамли қаттиқ қотишма қопламали қуйма деталлар олиш мажмуавий технологияси ишлаб чиқилди. Олинган натижалар ишчи органлар деталларининг ейилишга чидамлилигини ошириш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК DSc.27.06.2017.FM/Т.03.04 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И  
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ТИЛАБОВ БАХОДИР ҚУРБАНОВИЧ**

**ЛЕГИРОВАНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКИХ ДЕТАЛЕЙ И ПОКРЫТИЙ  
ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.  
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия  
черных, цветных и редких металлов (направление литейное производство  
и технология обработки металлов)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Тема докторской диссертации (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2017.1.DSc/T5.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, 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 консультант:**

**Мухамедов Анвар Акбарович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Махкамов Руфат Гулямович**  
академик АН Республики Узбекистан,  
доктор технических наук, профессор

**Михридинов Рискидин Михридинович**  
доктор технических наук, профессор

**Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**АО «Агрегатный завод»**

Защита диссертации состоится «20» июля 2017 года в 14-00 часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете и Национальном университете Узбекистана по адресу: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел/факс (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz).

С докторской диссертацией (DSc) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 23). Адрес: (100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел. (99871) 246-46-00).

Автореферат диссертации разослан «07» июля 2017 года (реестр протокола рассылки №23 от «07» июля 2017 года).

**К.А.Каримов**

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

**Н.Д.Тураходжаев**

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

**Н.Д.Тураходжаев**

Председатель научного семинара  
при научном совете по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация доктора наук (DSc) диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В странах мира с развитой промышленностью металлургических предприятий ведется ряд научно-исследовательских работ по получению качественных отливок из черного металла. Среди стран, занимающихся отливом металла, ведущими считаются США, Япония, Германия, Англия, Австралия, Индия, Канада, Россия и другие государства, которые производят 90% металла, получаемого по всему миру. Согласно статистическим данным, ежегодно для производства высококачественных материалов расходуются 6-7 млрд. долларов США, в том числе в Европейских государствах и странах СНГ - 2-3 млрд. долларов, а в странах с высоким производственным промышленным уровнем расходуются средства в размере 4-5 млрд. долларов. Одной из важнейших задач становится создание технологии получения качественных высокохромистых отливок деталей на основе эффективного способа, обеспечивающего экономию энергии и ресурсов в условиях углубления процесса глобализации, увеличения требований к качеству металлопродукции и внедрения в практику.

В годы независимости в республике особое внимание уделялось эффективному развитию сферы металловедения, а также производству высокохромистых и твердосплавных деталей с покрытием, являющихся конкурентоспособными на мировом рынке. В данном направлении достигнуты значительные результаты по укреплению резервной базы сферы, улучшению качества продукции, применению новых современных интеллектуальных технологий и их различной обработке, развитию металлоперерабатывающих предприятий на основе современных требований, в том числе по разработке оптимального состава и термической обработки сплавов для повышения износостойкости литых деталей.

В мире важное значение имеет дальнейшее повышение экономической эффективности путем увеличения прочности металлов и сплавов, получаемых литейным способом, и улучшения качественных показателей. Осуществление в этой сфере целевых научных исследований, в том числе научных соисканий в следующих направлениях является одной из важнейших проблем: разработка современных способов определения качественных параметров металла с учетом его химических и механических свойств и качественных показателей; разработка новых составов покрытий для повышения прочности металлических изделий; разработка новых режимов термической обработки, что является актуальной задачей в данной сфере.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-1758 от 21 мая 2012 года «О программе дальнейшей модернизации, технического и технологического перевооружения сельскохозяйственного производства в 2012-2016 годах» и №ПП-2298 от 11 февраля 2015 года «О внесении изменений в программу локализации готовой продукции, производства комплектующих изделий и материалов в 2015-2019

годах», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в настоящей сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии приоритетным направлениям развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>1</sup>.** Научные исследования, направленные на получение технологии высокохромистых сплавов, формирование структуры и свойств сплавов, осуществляются в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе в Университете инженерной технологии (США), Ногайском институте национальных технологий (Япония), Венском техническом университете (Германия), Австрийском научно-исследовательском институте (Австрия), университете департамента инженерной металлургии (Индия), Антарийском институте металлической корпорации (Канада), Уральском отделении физики металлов при Академии Наук Российской Федерации (Россия), Институте проблемы материаловедения (Украина) и Ташкентском государственном техническом университете (Республика Узбекистан).

На основании исследований по формированию структуры, обеспечивающей высокие свойства сплава, осуществленные во всем мире, получен ряд результатов, в том числе: разработана технология снижения объема углеродо - и фосфоросодержащего сплава (Университет инженерных технологий, США) и (Ногайский национальный институт технологий, Япония); разработаны режимы термической обработки, обеспечивающие снижение объема углеродосодержащих высокохромистых сплавов (Венский технический университет, Германия) и (Австрийский институт научных исследований, Австрия); создана технология, обеспечивающая увеличение срока эксплуатации деталей (Индийский университет инженерно-металлургического департамента, Индия) и (Антарийский институт металлургической корпорации, Канада), снижены объемы C, Si, Mn, Ni, S при расплавлении металла и сплавов, разработаны способы восстановления углерода (Уральское отделение физики металлов при Академии Наук Российской Федерации), способы повышения прочности твердосплавных покрытий и наплавочных материалов (Институты проблемы материаловедения и электрической сварки, Украина), способы, обеспечивающие состав высокохромистых сплавов и их прочность (Ташкентский государственный технический университет, Республика Узбекистан).

---

<sup>1</sup> Обзор международных научных исследований по теме диссертации выполнен на основании International journal of advanced research in science engineering and technology (2006-2015); Металловедение и термическая обработка металлов (2004-2016); Литейное производство (2003-2016); Трение и износ в машинах (2004-2016); Материаловедение (2005-2017); <http://www.sciepub.com/MSME/content/2/3?v=1>; [www.ew-a.org](http://www.ew-a.org); <http://anopremier.ru>; <http://www.vestnikmach.ru/>; [http://www.davidpublishing.com/journals\\_info.asp?Id=957](http://www.davidpublishing.com/journals_info.asp?Id=957); <http://www.subarc.ru/kontent/naplavka/>; <http://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/47/01/72.pdf> и других источников.

В мире проводится ряд научных исследований по формированию качества и структуры высокохромистых сплавов, в том числе по следующим приоритетным направлениям: разработка способов снижения объема таких добавок, как углерод, марганец и никель, оказывающих недостаточное влияние механических свойств высокохромистых сплавов; разработка конструкции, контролирующей объем углерода в составе сплавов; разработка новых оптимальных составов высокохромистых сплавов и наплавочных материалов; разработка способов изучения свойств и воздействия абразивному износу высокохромистых сплавов; разработка режимов термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией для высокохромистых сплавов.

**Степень изученности проблемы.** В мировой практике основными проблемами получения высокохромистых сплавов являются низкое содержание легирующих элементов в их составе, сложность удаления вредных элементов из его состава, низкая эффективность применяемых оборудований. Решению этих проблем посвятили основные теоретические и практические исследования G.Laird, R.Gundlach, Y.Matsubara, A.Bedolla-Jacuinde, R.Snoteborsky, M.Janssen, D.Hanlon, A.Chandrashekhar, N.Gupta, В.Г.Ефременко, О.С.Комаров, В.Д.Садовский, А.П.Гуляев, Ю.М.Лахтин, И.И.Цыпин, М.М.Тененбаум, М.М.Хрущов, М.А.Бабичев, Ю.А.Степанов, В.С.Дорошенко, И.О.Шинский и другие. Разработан ряд режимов нагрева для получения высокохромистых сплавов с качественной структурой, однако, не изучены процессы оптимизации химического состава и улучшения механических свойств высокохромистых белых чугунов и твердых сплавов, а также не применены нетрадиционные режимы термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией.

В разработке оптимальных составов покрытий сплавов для получения качественной структуры высокохромистых сплавов и усовершенствования методов повышения их прочности, в разработке технологии оптимизации количества углерода и марганца в составе сплавов при термическом упрочнении высокохромистых чугунов и твердосплавных покрытий большой вклад внесли ряд учёных, в частности Р.Г.Махкамов, А.А.Мухамедов, А.Х.Хаджиев, В.В.Меликов, В.В.Чекуров, Р.М.Михридинов, Ю.Н.Мансуров и другие, в научных трудах которых это получило своё отражение в определенной степени и дало положительные результаты в развитии отрасли.

Однако в научных исследованиях не изучены и не учтены химический состав, микроструктура и свойства высокохромистых сплавов и их влияние на абразивный износ. В частности, не проведены похожие исследования с высокохромистыми и высокоуглеродистыми сплавами. Кроме того, не уделено достаточное внимание увеличению износостойкости литых деталей с применением оптимальных режимов термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией при обработке высокохромистых сплавов. В настоящее время изготовление деталей из высокохромистых сплавов и проведение оптимальных режимов термической обработки являются актуальной задачей научно-практического значения.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ.** Диссертационное исследование выполнено в

соответствие с планом научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета №01-02 «Исследование механизма структурообразования и разработки технологии термического упрочнения с двойной фазовой перекристаллизацией отливок из белого высокохромистого чугуна с целью увеличения абразивной износостойкости в два и более раза» (2008-2009 гг.); №6/11-1827/07-2011 «Технология изготовления стальных и чугунных отливок с твердосплавным покрытием путем литья по газифицируемым моделям и их термическая обработка» (2011-2012 гг.); №01/10 «Исследование процесса структурообразования и разработка технологии получения и термообработки готовых отливок цилиндров, изготовленных из высокохромистого белого чугуна с целью увеличения их износостойкости» (2011-2012 гг.); №73 «Разработка технологии изготовления модельной оснастки и получения пеномодели и литых деталей машиностроительных, металлургических и энергетических машин с твердосплавным покрытием путем литья по газифицируемым моделям и их последующей термообработки» (2012-2013 гг.).

**Целью исследования** является разработка оптимального химического состава и режимов термической обработки высокохромистых белых чугунов и твердосплавных покрытий.

**Задачи исследования:**

получение литых деталей на базе высокохромистых сплавов, а также обоснование и выбор состава для получения деталей почвообрабатывающих машин с износостойким твердосплавным покрытием, получаемых путем литья по газифицируемым моделям;

разработка состава сплава, который должен быть экономно-легированным, не образовывать структурных составляющих, затрудняющих фазовые превращения при термической обработке;

разработка нетрадиционных режимов термической обработки, которые позволят максимально использовать потенциальные возможности высокохромистого сплава при повышении износостойкости путем создания структур металлической основы с высоким уровнем плотности дислокаций и с дисперсными частицами второй фазы - вторичных карбидов;

достижение реальных изделий, отличающихся от износостойких и импортируемых деталей, проведение испытаний на натуральную износостойкость после завершающей термической обработки опытных партий литых деталей машин и оборудования из предлагаемого белого чугуна и твердосплавного покрытия, внедрение результатов выполненных научных исследований на предприятиях.

**Объектом исследования** являются образцы рабочих колес и цилиндров из высокохромистого белого чугуна, литые детали с твердосплавным покрытием, изготовленные путем литья по газифицируемым моделям.

**Предмет исследования** составляют закономерности свойств при термической обработке с двойной фазовой перекристаллизацией и формирование структуры в износостойком покрытии, изменение структуры и свойств в зависимости от состава высокохромистого белого чугуна.



**Способы исследования.** В диссертационной работе применены способы анализа металлографии, рентгеноструктуры, способы измерения макро - и микротвердости образцов, режимы термической обработки и способы испытания натуральных готовых изделий.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан оптимальный состав высокохромистого белого чугуна по сумме элементов  $C+Si+Mn+Cr+Ni$ , обеспечивающей образование структуры и свойств, требуемых при проведении термической обработки;

определено вредное влияние серы на износостойкость высокохромистых сплавов;

разработан механизм структурообразования при нанесении на рабочие поверхности деталей твердосплавных покрытий методом литья по газифицируемым моделям;

определена фазовая наследственность параметров тонкой структуры металлической основы высокохромистых чугунов и сплавов при фазовой перекристаллизации в процессе завершающей термической обработки;

разработаны явления наследственности в сведениях дислокаций при повторной фазовой перекристаллизации и показатели экстремальной температуры нагрева высокохромистых сплавов, обеспечивающие после охлаждения сплава в его металлической основе формируется структура с очень высокой плотностью дислокаций;

определено использование эффекта наследственности тонкой структуры при двойной фазовой перекристаллизации, что увеличивает износостойкость сплава на 33-35% и она становится выше, чем у импортного сплава, а у износостойких покрытий - на 80-82%.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработаны оптимальные химические составы для изготовления цилиндров барабанных мельниц, рабочих колес насосов из высокохромистых белых чугунов и литых деталей почвообрабатывающих машин с твердосплавным покрытием, обосновано и рекомендовано их применение;

разработаны оптимальные режимы термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией для деталей машин и оборудования, предоставляющие возможность повышения износостойкости в 2-3 раза, чем серийных изделий;

термически обработанные детали испытаны на многих производственных предприятиях, рекомендовано и обосновано их применение;

разработаны технологии термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией для износостойких деталей, которые почти полностью устраняют безвозвратные потери металла из-за износа и внедрены на производственных предприятиях.

**Достоверность полученных результатов**, прежде всего, поясняется соответствием статистики очень многих опытно-экспериментальных материалов, полученных опытных результатов результатам других опытов. Данные исследования обосновываются полным взаимодействием результатов металлографических и рентгеноструктурных анализов, термической обработки,

результатов испытаний на износостойкость. Результаты полученного опыта сравнены с имеющимися данными опыта и внедрены в производства с реальным фактическим экономическим эффектом.

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

Научная значимость полученных результатов поясняется в оценке роли элементов-стабилизаторов  $\gamma$ -фазы в высокохромистых сплавах, в полноте фазовых превращений при термической обработке, в применении факта существования явлений наследственности при термообработке сплавов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что найдены решения по существенному увеличению сроков работы деталей, работающих в условиях абразивно-коррозионного износа не за счет дополнительного легирования высокохромистых сплавов, а за счет использования нетрадиционных режимов термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией.

**Внедрение результатов исследования.** На основании технологий, разработанных по способам получения высокохромистых сплавов и износостойких покрытий:

оптимальный состав и режимы термической обработки твердосплавных покрытий, полученных путем литья по газифицируемым моделям, внедрены для повышения износостойкости прокатных роликов АО «Узбекистон металлургия комбинати» (Справка от 28 апреля 2017 года №01-1/605 акционерного общества «Узбекистон металлургия комбинати»). Разработанные составы и режимы термообработки твердосплавных покрытий предоставили возможность увеличить износостойкость деталей в 2-3 раза;

оптимальный состав и режимы термической обработки высокохромистого белого чугуна внедрены в акционерном обществе «Узагротехсаноатхолдинг» Республики Узбекистан, в частности, в обществе с ограниченной ответственностью «Дальварзинский ремонтный завод» для повышения износостойкости изготовленных деталей (Справка от 10 апреля 2017 года №НО-17-03/512 акционерного общества «Узагротехсаноатхолдинг»). Разработанные составы и режимы термической обработки предоставили возможность повысить износостойкость деталей в 2-3 раза;

оптимальный состав и режимы термической обработки твердосплавных покрытий, полученных путем литья по газифицируемым моделям внедрены в Акционерном обществе «Узагротехсаноатхолдинг» Республики Узбекистан, в частности, в холдинговой компании «Metallmexqurilish» - для повышения износостойкости литых деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин (Справка от 10 апреля 2017 года №НО-17-03/512 акционерного общества «Узагротехсаноатхолдинг»). Разработанные составы и режимы термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией предоставили возможность повысить износостойкость деталей в 3-4 раза.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов исследования произведена на 21 республиканских и 12 международных научно-технических и научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации изданы всего 56 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов докторских диссертаций Высшей Аттестационной Комиссии Республики Узбекистан, изданы 22 статьи, в том числе 18 из которых были изданы в республиканских и 3 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Содержание диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 195 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность проведенных исследований, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и параметры, указано соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты теоретические и практические значения полученных результатов, внедрены результаты исследования в практику, опубликованы научные работы, приведены данные по структуре и объему диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Износостойкие высокохромистые сплавы для деталей, работающих в условиях абразивно-коррозионного изнашивания»** проведен аналитический обзор выполненных исследований в области состава, свойств, применения высокохромистых белых чугунов и покрытий наплавочных материалов, используемых для деталей, работающих в условиях абразивно-коррозионного износа.

В результате анализа литературных источников и технических документов металлургических, цементных и машиностроительных ремонтных заводов республики сделаны следующие выводы:

отливки из высокохромистых белых чугунов на ряде предприятий Республики Узбекистан используются после термической обработки, которая не позволяет в полной мере применять потенциальные возможности чугуна в повышении износостойкости, а рекомендуемые режимы, согласно стандартам и техническим условиям, недостаточно обоснованы;

детали рабочих органов почвообрабатывающих сельхозмашин и ролики прокатного стана металлургического оборудования в настоящее время не имеют износостойких твердосплавных покрытий;

используемые марки высокохромистых белых чугунов и сплавов для износостойких покрытий содержат значительное количество дефицитных легирующих элементов – Mn, Ni, Mo, Ti, что недостаточно обосновано с точки зрения прокаливаемости и износостойкости;

структура и свойства литых деталей и наплавленных покрытий из высокохромистого чугуна и сплава формируются в процессе застывания. При этом образуются стабильные структуры, плохо поддающиеся механической

обработке и последующей термической обработке. При этом из-за большого количества остаточного аустенита снижаются твердость и износостойкость.

В связи с вышеизложенным требуется решение следующих проблем: выбор состава материала без дефицитных элементов – Mo, W, Ti, способного легко проходить фазовые превращения при нагреве и охлаждении; разработка технологии и установление механизма нанесения твердосплавного покрытия при литье детали по газифицируемым моделям; использование нетрадиционных методов термической обработки для максимального повышения абразивной износостойкости.

Для решения этой проблемы следовало выработать научно обоснованные технические и технологические решения, касающиеся:

корректировки состава высокохромистого чугуна и наплавочного сплава на базе широко используемых чугунов ИЧХ28Н2, 300Х32Н2М2ТЛ, твердого сплава сормайт ПГ-С27 так, чтобы исключить содержание молибдена, вольфрама, титана и уменьшить содержание никеля, но обеспечить полноту фазовых превращений во время проведения операций термической обработки при достаточной прокаливаемости;

разработки технологии нанесения износостойких твердосплавных покрытий скорректированного состава, механизма структурообразования слоя при изготовлении детали путем литья по газифицируемым моделям;

разработки технологии и режимов термической обработки отливок готовых деталей и изделий с износостойкими покрытиями, которые позволяют достигать износостойкость выше импортных деталей, когда необходимые структурные параметры сплавов образуются не за счет дополнительного легирования, а за счет использования нетрадиционных режимов термического упрочнения при фазовой перекристаллизации.

Во второй главе диссертации под названием **«Объекты исследований и методы испытания образцов»** показан выбор материалов для исследований и приведена методика проведения экспериментов. Объектами исследований были образцы из высокохромистых белых чугунов, которые либо вырезали из рабочих колес центробежных насосов и цельпесов барабанных мельниц различных производителей, либо получали в виде заготовок из чугунов промышленной выплавки (АО «АГМК», ГП «НГМК», ООО «ДРЗ»), а также образцы из твердосплавных покрытий, полученных путем литья по газифицируемым моделям в предприятии ХК «Metallmexqurilish».

Химический состав образцов, используемых для исследований приведен в табл.1. В данной таблице за эталон принят образец, вырезанный из рабочего колеса и цельпесса импортного производства, который выработал свой срок службы и показал высокий уровень долговечности в АО «АГМК», ГП «НГМК» и ООО «ДРЗ».

## Химический состав исследованных сплавов

Марка и № плавки чугуна	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Остальное Fe
1. Рабочее колесо Warman	2,87	0,317	1,38	0,031	0,012	28,31	0,538	0,049	Cu = 0,024
2. Рабочее колесо ЦРМЗ	2,45	0,59	0,65	0,071	0,089	21,87	1,26	-	-
Плавка 910	3,49	0,51	0,57	0,067	0,032	28,86	1,54	0,057	Cu 0,2
Плавка 939	2,99	0,78	0,62	0,064	0,03	26,54	0,99	0,059	Cu 0,26
Плавка 1059	2,92	1,35	0,33	0,036	0,035	23,0	1,16	0,053	Cu 0,22
3. 300X32H2 M2TL									
Плавка 327	2,67	1,13	0,57	0,043	0,018	31,58	2,23	0,32	-
Плавка 2	2,59	0,71	0,78	0,03	0,03	28,17	1,11	0,2	-
4. Цильпебсы импортные	2,86	0,316	1,40	0,028	0,025	27,3	0,523	-	-
Цильпебсы местные	2,43	0,56	0,67	0,066	0,085	20,23	0,76	-	-
Нормы по стандартам									
ИЧХ28H2 по ТУ 26-05-1484-87	2,5-3,0	0,7-1,4	0,5-1,0	0,08	0,1	25-30	1,5-2,0	-	-
300X32H2 M2TL Стан-т НМЗ	2,4-2,8	до 2,0	1,4-1,8	-	-	30-34	1,5-3,0	1,5-2,0	Ti=0,1-0,6

Часть образцов имела химический состав, отличающийся от стандартного, что позволяет более четко проследить влияние состава на свойства сплава.

Термообработку образцов из белого чугуна и износостойкого твердосплавного покрытия проводили в лабораторных печах, а натуральных изделий - в промышленных печах с выкатным подом. Так как эти образцы имели аналогичный состав и структуру, отработку оптимального состава и метода термической обработки проводили на образцах из белого чугуна.

Термическая обработка образцов заключалась в проведении: 1) смягчающего отжига при 700-720<sup>0</sup>С; 2) отжига с фазовой перекристаллизацией 950<sup>0</sup>С; 3) нормализации (закалки) при температурах нагрева 940<sup>0</sup>, 1000<sup>0</sup>, 1100<sup>0</sup>, 1150<sup>0</sup>С; 4) отпуска при температурах 300<sup>0</sup>, 450<sup>0</sup>, 500<sup>0</sup>, 550<sup>0</sup>, 600<sup>0</sup>С; 5) термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией. Двойная закалка. Образцы после первой закалки с различными температурами нагрева и промежуточного отпуска 450<sup>0</sup> и 600<sup>0</sup>С подвергали повторному нагреву до 925<sup>0</sup> - 940<sup>0</sup>С, закачивали в масле и отпускали при 300<sup>0</sup>С.

Металлографические исследования проводили на микроскопах МИМ-8М и НЕОРНОТ-21 при увеличениях от 100 до 2000Х. Рентгенографический анализ выполнен на дифрактометре ДРОН-2,0 с целью проведения фазового анализа, определения процентного соотношения фаз, уровня дефектности

кристаллического строения металлической основы сплава (плотность дислокаций), состояния твердого раствора углерода в  $\alpha$ -железе закаленной металлической основы сплава.

Для проведения производственных испытаний изготавливали опытные партии литых деталей почвообрабатывающих сельхозмашин, рабочие поверхности которых имели твердосплавное покрытие рекомендованного нами состава, а также цильпессы барабанов и рабочих колес насосов целиком из высокохромистого белого чугуна скорректированного нами состава.

В обоих случаях испытывали одновременно серийно выпускаемые изделия и изделия из сплава предлагаемого нами состава с использованием термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией.

В третьей главе диссертации под названием **«Исследование сравнительной характеристики структуры и свойств образцов, изготовленных из высокохромистого белого чугуна и твердосплавного покрытия»** изучены сравнительные характеристики структур и свойств высокохромистых белых чугунов и твердосплавных покрытий для изготовления деталей рабочих колес центробежно-грунтовых насосов, цильпессов барабанных мельниц и твердосплавных деталей в горно-металлургической, цементной и сельхозмашиностроительной промышленности республики.

Ряд деталей машин и оборудования горно-металлургического и цементного производства, а также почвообрабатывающих машин работает в тяжелых условиях абразивно-коррозионного износа. Эти детали должны быть изготовлены из коррозионно-износостойких сплавов или иметь на рабочих поверхностях покрытия из таких сплавов.

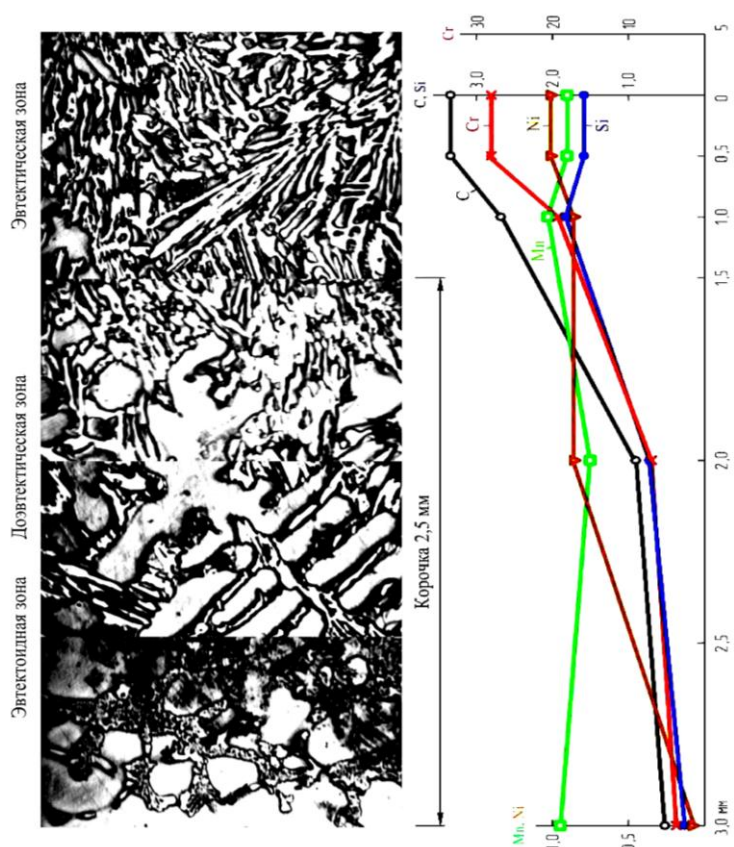
Для бесперебойной работы металлургического, цементного комплекса и почвообрабатывающих машин необходимо постоянное обновление парка машин и запасных частей. Для изготовления запасных деталей и агрегатов функционируют многие машиностроительные и ремонтно-механические заводы, специализирующиеся на производстве изделий из высокохромистого белого чугуна. Чаще всего используют сплавы марок ИЧХ28Н2 и 300Х32Н2М2ТЛ, а как наплавочный материал применяют сплав типа «Сормайт» ПГ-С27. Часть деталей приобретают по импорту.

Однако наблюдается существенная разница в износостойкости деталей импортного и местного производства, исчисляемая в разы. Это приводит к большому перерасходу дорогостоящих сплавов и легирующих элементов (феррохрома, Ni и Mo – десятки тонн).

Устранение этого недостатка возможно, если определены свойства самого материала: химический состав, тип и количество фаз в структуре сплава, виды и способы использованного термического упрочнения. В качестве исследуемых были взяты образцы (табл.1), вырезанные из рабочих колес насоса местного производства ЦРМЗ при АО «АГМК» (белый чугун ИЧХ28Н2 плавки №939) и НМЗ при ГП «НГМК» (белый чугун 300Х32Н2М2ТЛ плавки №327). Структуры данных чугунов эвтектическая, Твердость по HRC: Warman (57), ИЧХ28Н2 (51), 300Х32Н2М2ТЛ (48); типы карбидов  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  (32), (35),

(36); % остаточного аустенита (12), (23), (24); плотность дислокаций  $\rho \cdot 10^{11}$  / $\text{см}^2$  (2,36), (0,5), (05). Содержание серы не превышало 0,03%.

*Твердосплавное покрытие.* Состав порошкового твердого сплава типа «Сормайт» ПГ-С27 достаточно близок к составу белого чугуна марки ЧХ28Н2. В данном случае была выбрана партия твердосплавного порошка с ограниченным количеством углерода, никеля и практически без вольфрама ( $\text{C}=3,0-3,2$ ;  $\text{Ni}=0,9-1,2$ ). Образцы и детали с твердосплавным покрытием получали при литье по газифицируемым моделям. Однако химический состав и структура покрытия были неоднородны по глубине покрытия, а толщина покрытия – 2-3 мм. На поверхности образцов образуется зона эвтектической структуры высокохромистого белого чугуна, а далее по глубине идут доэвтектическая зона, эвтектоидная, переходящая в структуру науглероженного основного металла (рис.1).



**Рис.1. На поверхности образцов образуется зона эвтектической структуры высокохромистого сплава и далее по глубине идут доэвтектическая и эвтектоидная зоны, переходящие в структуру основного металла.**

Для испытаний вышерассмотренных чугунов и сплавов на износ были подготовлены специальные образцы. Поверхность трения всех образцов имела одинаковую шероховатость - 0,63. Каждый образец испытывали шесть раз по 30 минут на одной и той же поверхности контакта образца с трущим шнековым валиком.

Результаты испытаний на абразивный износ приведены в табл.2. Испытания показали, что существует общая зависимость величины износа от твердости и параметров структуры. Исключение составляет образец,

вырезанный из рабочего колеса насоса местного производства ЦРМЗ при АО «АГМК». Величина износа этого образца уже после первых 30 минут испытания почти втрое превышала износ белого чугуна Warman. В данном случае белый чугун насоса ЦРМЗ по составу отвечал марке ИЧХ28Н2 согласно ТУ26-06-1484-87. Однако установлено, что причиной быстрого износа являются сульфиды марганца и железа, присутствующие в структуре чугуна. Следовательно, норма количества серы в сплаве должна быть много меньше, чем 0,1%, предусмотренная техническими условиями.

Таблица 2

Величина износа образцов при испытании на машине трения ПВ-7

№№ п/п	Общее время испытания, мин	Вид образца и марки сплава				
		Warman	ИЧХ28Н2	300Х32Н2М2Т	Цильпессы импортные	Твердосплавное покрытие
Износ за каждые 30 минут испытания, мг						
1.	30	0,6	1,5	0,9	0,7	0,9
2.	60	0,4	0,9	0,7	0,5	0,7
3.	90	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5
4.	120	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
5.	150	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
6.	180	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Твердость HRC		58	51	50	55	49

Анализ результатов исследований, представленный в главе 3, позволяет сделать следующие заключения:

появляется необходимость корректировки состава высокохромистых белых чугунов и наплавочных материалов с целью обеспечения полноты протекания фазовых превращений в процессах термической обработки. Это может обеспечить достижение требуемых структур и износостойкости не за счет дополнительного легирования, а за счет использования термической обработки, в том числе нетрадиционного режима. Обязательным условием является снижение содержания серы в сплаве;

представляется целесообразным после установления необходимого химического состава высокохромистого белого чугуна (скорректированного состава) провести исследования на базе одной плавки по разработке режимов термической обработки, которые обеспечивают максимальную износостойкость сплава. Состав плавки белого чугуна должен быть близок к составу наплавочного материала так, чтобы все опыты можно было проводить только на образцах данного чугуна.

В четвертой главе диссертации под названием «**Разработка оптимального состава и режимов термической обработки высокохромистого белого чугуна**» приведена разработка экономно-легированного состава высокохромистого белого чугуна и наплавочного материала, а также режимов их термической обработки. При выборе такого состава исходили из того, что легирующие элементы должны обеспечивать требуемую прокаливаемость отливки из высокохромистого белого чугуна, но не затруднять протекание фазовых превращений при нагреве и охлаждении.



Одним из критериев, показывающих полноту протекания фазовых и структурных превращений, является изменение твердости белого чугуна для улучшения механической обработки. Были использованы два варианта промежуточного отжига: 1-отжиг с фазовой перекристаллизацией с нагревом до 900<sup>0</sup>С и охлаждением вместе с печью; 2-отжиг без фазовой перекристаллизации с нагревом до 700-720<sup>0</sup>С и охлаждением вместе с печью. Отжиг с фазовой перекристаллизацией при температуре 700-720<sup>0</sup>С показал более стабильные результаты.

Анализ проведенных опытов свидетельствует о том, что эффективность смягчающего отжига различна в зависимости от состава белого чугуна. Устойчивость к отжигу возрастает с увеличением процентного содержания дополнительных (кроме хрома) легирующих элементов (Si, Mn, Ni, Mo). Оказалось целесообразным ограничить суммарное содержание элементов С, Si, Mn, Ni (исключив Мо) с интервалом 4,5-5,5% с целью снижения твердости отливки при отжиге (табл.3).

Фазовый рентгеноструктурный анализ образцов плавов 910, 939, 1059, 327 выявил после отжига существование остаточного аустенита. Это свидетельствует об очень большой устойчивости остаточного аустенита к распаду даже в условиях нагрева в субкритическом интервале температур.

Таблица 3

Химический состав, суммарное содержание элементов С, Si, Mn в белых чугунах и изменение твердости образцов после смягчающего отжига

Плавка, образец	Состав и суммарное содержание элементов, %							Твердость HRC		Разница Δ HRC до и после отжига
	С	Ni	Mn	Si	Cr	Mo	Σ С+ Ni+Si+ Mn %	До отжига	После отжига	
Warman	2,81	0,538	1,38	0,317	28,31	-	4,6	57	44	13
ЦРМЗ	2,45	1,26	0,65	0,59	22,87	-	4,87	50	43,5	6,5
плавка 910	3,49	1,54	0,57	0,51	28,86	-	6,11	50	49,66	0,34
плавка 939	2,89	0,99	0,62	0,78	26,54	-	5,38	53,5	42,7	10,8
плавка 1059	2,92	1,16	0,33	1,35	23,01	-	5,76	55	51	4
плавка 327	2,67	2,23	0,57	1,13	31,58	0,37	6,6	49	48	1

После отжига рабочих колес и цилиндров должны быть подвергнуты упрочняющей термической обработке (закалке и отпуску) с целью резкого повышения твердости и износостойкости.

Для проведения опытов по упрочняющей термической обработке был выбран состав на базе высокохромистого белого чугуна ИЧХ28Н2 с более низким содержанием никеля (и без молибдена). Состав этого чугуна отвечает требованию ограничения суммы С, Si, Mn, Ni 4,5-5,5% и близок к составу плавки 939: % С=2,8; Si=0,7; Mn=0,65; Ni=1,0; Cr=27,0; S,P=0,03 местного производства ЦРМЗ при АО «АГМК».

Высокая износостойкость достигается при создании в металлической основе белого чугуна структуры мартенсита и бейнита. При закалке в мартенситной или бейнитной структуре металлической основы могут сохраняться мелкие карбиды хрома  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . Наиболее высокая износостойкость может быть достигнута, если мартенситная матрица сплава имеет максимально высокую плотность дислокаций. Это достигается при термической обработке с двойной фазовой перекристаллизацией. Такая термическая обработка для высокоуглеродистых высокохромистых сплавов ранее не использовалась.

В настоящем исследовании образцы высокохромистого белого чугуна вышеуказанного состава термически обрабатывали по двум вариантам.

По первому варианту закалку проводили с нагревом до различных температур –  $925^{\circ}\text{C}$ ;  $1000^{\circ}\text{C}$ ;  $1100^{\circ}\text{C}$ ;  $1150^{\circ}\text{C}$ . Цель данных исследований – это определить экстремальную температуру закалки, когда при охлаждении формируется наиболее высокий уровень плотности дислокаций в  $\alpha$ -фазе (мартенсите).

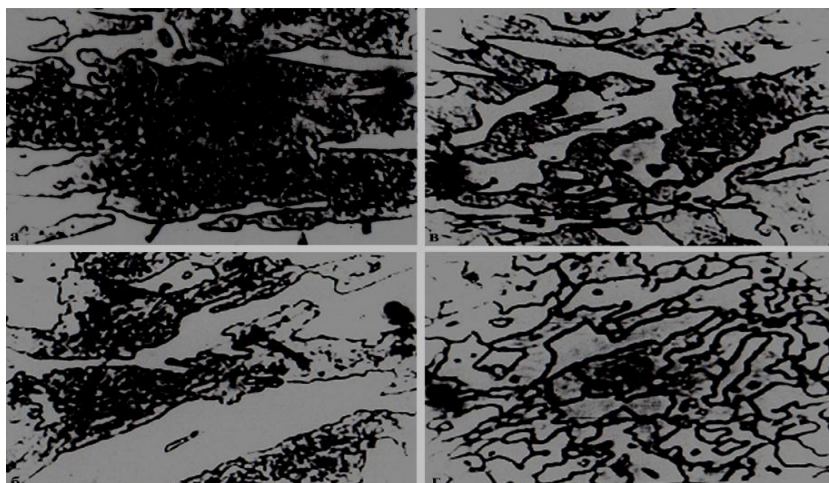
По второму варианту после закалки с различными температурами нагрева провели промежуточный отпуск при  $600^{\circ}\text{C}$ , а вторую закалку одновременно всех образцов с температурой нагрева  $925^{\circ}\text{C}$  -  $940^{\circ}\text{C}$  с охлаждением в масле. Завершающей термической обработкой был отпуск при температуре нагрева  $300^{\circ}\text{C}$ .

При термической обработке по первому варианту с ростом температуры нагрева образцов и последующей закалкой наблюдается растворение в твердом растворе вторичных карбидов (рис.2). После закалочного охлаждения металлическая основа представляет собой высокоуглеродистый мартенсит. Твердость возрастает  $\text{HRC}=57,3-62,3-64-64$ , но количество остаточного аустенита также увеличивается (рис.3).

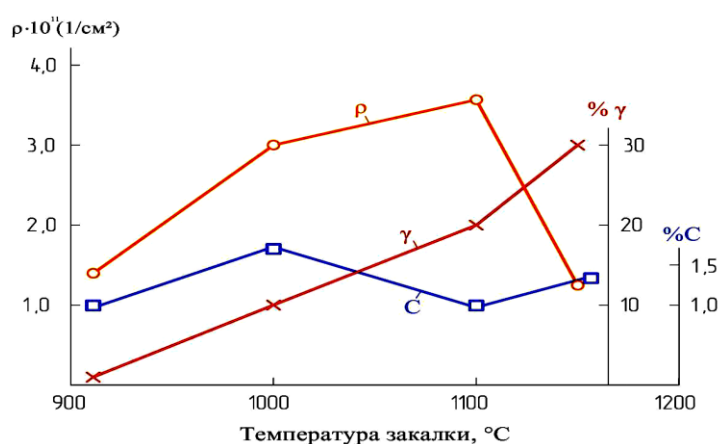
Плотность дислокаций приобретает максимальное значение при температуре закалки  $1100^{\circ}\text{C}$ . Следует иметь в виду, что плотность дислокаций кристаллического строения белого чугуна Warman  $\rho=2,36 \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$ , а чугуна ИЧХ28Н2 –  $\rho=0,5 \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$ . Количество углерода в тетрагональной решетке мартенсита растет с увеличением температуры закалки с образованием минимума при  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Высокие значения твердости и плотности дислокаций кристаллического строения высокохромистого белого чугуна предлагаемого состава свидетельствуют о правильности его выбора по вышеуказанному правилу суммы элементов  $\text{C} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Ni}$ .

Цилиндровые и рабочие колеса имеют высокую твердость в значений  $\text{HRC} = 50 \div 60$ . Однако после отпуска  $300^{\circ}\text{C}$  твердость понижается.



**Рис.2. Микроструктура образцов белого чугуна плавки, близкой к 939, после закалки с различными температурами: а-925<sup>0</sup>С; б-1000<sup>0</sup>С; в-1100<sup>0</sup>С; г-1150<sup>0</sup>С. X2000**



**Рис.3. Зависимость структурных параметров высокохромистого белого чугуна плавки 939 от температуры закалки и отпуска 300<sup>0</sup>С: ρ - плотность дислокаций; γ - остаточный аустенит; С - углерод в тетрагональной решетке.**

На основании анализа экспериментальных результатов по термической обработке по первому варианту можно сделать следующее заключение:

1. При закалке белого чугуна состава, аналогичного плавке 939 с температурой нагрева 925 - 1000<sup>0</sup>С после отпуска 300<sup>0</sup>С уровень плотности дислокаций в α-фазе металлической основы соответствует уровню, который имеет место в чугуне Warman. Наиболее высокая плотность дислокаций образуется после закалки с температурой нагрева 1100<sup>0</sup>С.

2. Повышение температуры закалки свыше 1000<sup>0</sup>С ведет к росту в структуре количества остаточного аустенита, который снижает износостойкость.

3. Наиболее перспективным составом белого чугуна и наплавочного материала является состав с пониженным содержанием никеля, кремния и серы, без молибдена, вольфрама, титана следующего состава (табл.4).

Таблица 4

Перспективный состав чугуна и наплавочного материала

Элементы	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Состав, %	2,5-3,0	0,4-0,8	0,5-1,0	до 0,03	до 0,03	25-30	0,5-1,0

Термическая обработка по первому варианту должна включать закалку (нормализацию) с температурой нагрева 925<sup>0</sup> - 1000<sup>0</sup>С и отпуск 300<sup>0</sup>С.

Термическая обработка по второму варианту включает двойную фазовую перекристаллизацию. Эта термическая обработка имеет своей целью сохранение высокой плотности дислокаций, полученной при первой закалке с температурой нагрева 1100<sup>0</sup>С; снижение количества остаточного аустенита после второй закалки с 920<sup>0</sup>С. Завершающей операцией является отпуск при 300<sup>0</sup>С для снижения внутренних напряжений и твердости.

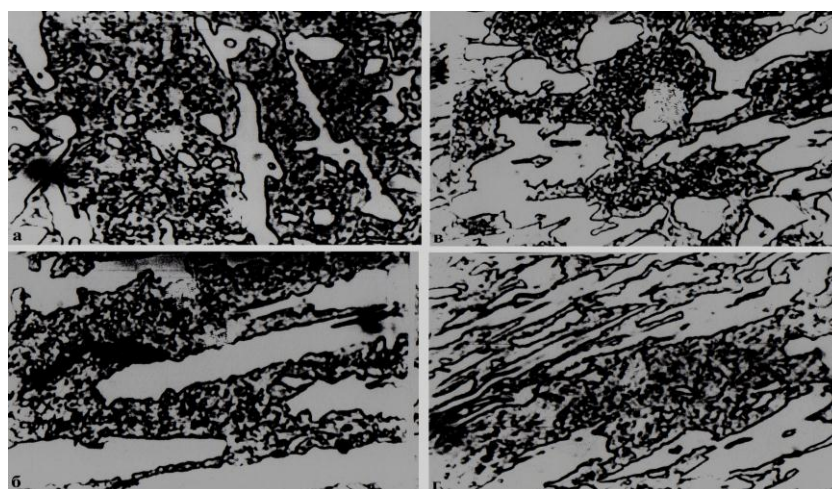
В данных исследованиях образцы высокохромистого белого чугуна рекомендуемого состава закачивали при различных температурах по первому варианту. Закаленные образцы одновременно отпускали при 600<sup>0</sup>С. Отпущенные образцы также одновременно нагревали в одной печи до 925<sup>0</sup>С и закачивали (охлаждали) в масле.

Термически обработанные образцы подвергали металлографическому и рентгеноструктурному анализам. Результаты исследований приведены в табл.5 и рис.4.

Таблица 5

Изменение твердости, плотности дислокаций в кристаллическом строении, количества углерода в тетрагональной решетке мартенсита, количества остаточного аустенита образцов белого чугуна плавки 939 в зависимости от температуры предварительной закалки. Вторая закалка с температурой нагрева 925<sup>0</sup>С, отпуск при 300<sup>0</sup>С

Температура первой закалки, °С	Твердость HRC	Плотность дислокаций $\rho \cdot 10^{11}$ 1/см <sup>2</sup>	Количество остаточного аустенита, %	Количество углерода в тетрагональной решетке (до отпуска), %
925	57	0,89	до 10%	1,5
1000	59	1,96		1,5
1100	61	3,34		1,0
1150	60	3,09		1,1



**Рис.4. Микроструктуры белого чугуна плавки, близкой к 939, после двойной закалки и отпуска 300<sup>0</sup>С. Первая закалка с температурами нагрева 925<sup>0</sup>С (а), 1000<sup>0</sup>С (б), 1100<sup>0</sup>С (в), 1150<sup>0</sup>С (г), промежуточный отпуск 600<sup>0</sup>С, вторая закалка с температурой нагрева 925<sup>0</sup>С, отпуск 300<sup>0</sup>С.**

Как видно из представленных данных табл.5, повторная фазовая перекристаллизация проходит явно в условиях наследования элементов исходной субструктуры, полученной при первой закалке. Четко просматривается рост плотности дислокаций с увеличением температуры первой закалки с образованием экстремума при 1100<sup>0</sup>С.

Микроструктура образцов, которая была закалена при первой закалке с температурами нагрева 1100<sup>0</sup>С и 1150<sup>0</sup>С, характерна присутствием мелких вторичных карбидов.

Таким образом, двойная фазовая перекристаллизация с использованием нагрева до экстремальной температуры при первой закалке, при наличии мелких включений вторичных карбидов может обеспечить высокий уровень износостойкости сплава (рис.4).

На основании анализа полученных результатов по второму варианту термической обработки можно сделать следующее заключение:

1. При термической обработке высокохромистых белых чугунов с двойной фазовой перекристаллизацией наблюдается эффект наследственности параметров тонкой структуры исходного состояния;

2. Высокая плотность дислокаций, созданная при предварительной термической обработке с экстремальными температурами нагрева, сохраняется после завершающей закалки и отпуска;

3. Значительная часть атомов углерода закаленного сплава находится на дислокациях, способствуя их закреплению;

4. Термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией способствует образованию закалочных структур металлической основы белых чугунов при минимальном содержании остаточного аустенита.

В пятой главе диссертации под названием **«Внедрение результатов оптимального состава и режимов термической обработки износостойких высокохромистых сплавов в производственных предприятиях»** представлены результаты исследований, касающиеся износостойкости высокохромистых белых чугунов и твердосплавных покрытий после различных вариантов термической обработки, выбора оптимального варианта «Состав - термообработка» и их практическая реализация.

Режимы термической обработки чугуна были использованы в соответствии с результатами исследований, представленными в главе 4. Как уже указывалось ранее, в качестве эталонного объекта выбрали образцы белого чугуна насоса Warman в состоянии поставки. Это было связано с тем, что насос импортного производства имеет наибольший срок службы.

В качестве объектов испытания использовали также образцы нескольких вариантов состава и режимов термической обработки (табл.6).

Таблица 6

Параметры структуры, свойства и результаты испытаний на износ образцов  
высокохромистых белых чугунов

№№ п/п	Сплав, термообработка	Твердость HRC	Плотность дислокаций $\rho \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$	Количество остаточного аустенита, %	Величина износа, мг
1 - Образцы из рабочего колеса, Warman					
а)	Состояние поставки	57	2,36	11,5	0,6
б)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С	46	-	нет	1,0
в)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1000 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	59	-	10	0,6
2 - Образцы из рабочего колеса, ИЧХ28Н2 S=0,07%					
а)	Состояние поставки	51	0,5	23,0	1,5
б)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1000 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	59	-	-	0,8
3 - Образцы плавки 327 (HM3), 300X32Н2М2ГЛ					
а)	Отпуск 570 <sup>0</sup> С литого образца	49	-	44	0,85
4 - Образцы плавки, близкие к 939, прямая закалка					
а)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1000 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	59	3,12	6,7	0,6
б)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1100 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	56,5	4,12	13,2	0,6
в)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1150 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	55	1,3	20,0	0,8
5 - Образцы плавки, близкие к 939, двойная фазовая перекристаллизация					
а)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1100 <sup>0</sup> С, отпуск 600 <sup>0</sup> С, закалка 940 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	60	3,34	6,7	0,4
б)	Отжиг 700 <sup>0</sup> С, закалка 1150 <sup>0</sup> С, отпуск 600 <sup>0</sup> С, закалка 940 <sup>0</sup> С, отпуск 300 <sup>0</sup> С	59	3,09	6,7	0,5

Анализ результатов испытаний на износ показал явное влияние – режимов термообработки на износостойкость высокохромистых белых чугунов, что находится в полном соответствии с изменениями параметров структуры при термической обработке, которые были рассмотрены в главе 4.

В связи с этим интересны результаты испытаний образца, вырезанного из рабочего колеса насоса местного производства ЦРМЗ (ИЧХ28Н2), белый чугун которого имел повышенное содержание серы и показал наихудшую износостойкость. Данный образец имел твердость в состоянии поставки HRC 51, а в его структуре остаточный аустенит составил 23%. Это образец после отжига 700<sup>0</sup>С, закалки 1000<sup>0</sup>С и отпуска 300<sup>0</sup>С имел износостойкость почти вдвое лучше, чем в состоянии поставки. Однако величина износа оставалась достаточно большой из-за повышенного содержания серы.

Результаты испытаний образцов белого чугуна состава плавки 939 после закалки с различными температурами нагрева показали, что вполне хорошие

результаты имеют место после закалки с температурой нагрева  $1000^{\circ}\text{C}$  и отпуска  $300^{\circ}\text{C}$ ; твердость, уровень плотности дислокаций металлической основы чугуна, а также величина износа в точности совпадают с теми же параметрами чугуна импортного производства Warman.

Наибольший интерес вызывают результаты опытов по использованию термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией (двойной закалки с промежуточным отпуском). Величина износа в этом случае меньше, чем у чугуна импортного производства в состоянии поставки.

В целом наблюдается достаточно тесная связь между величиной износа и твердостью испытанных высокохромистых белых чугунов.

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл.6, позволяет сделать заключение, что твердость и износостойкость отливок из чугунов марок ИЧХ28Н2 и 300Х32Н2М2ТЛ в состоянии поставки готовых деталей недостаточны. Литые заготовки имеют достаточно высокую твердость, как без термообработки, так и после используемых режимов термообработки HRC = 49-51. Обрабатываемость заготовок затруднительна, а износостойкость недостаточна.

Выбор рационально легированного состава высокохромистого белого чугуна и наплавочного материала позволяет в полной мере проводить термическую обработку с необходимыми фазовыми и структурными превращениями, дает возможность использовать все преимущества термообработки: снижает твердость для мехобработки деталей; значительно увеличивает твердость и износостойкость после закалки на мартенсит металлической основы и снижает количество остаточного аустенита.

Испытания на износ образцов высокохромистого белого чугуна и наплавочных материалов различного состава после различных вариантов термической обработки подтвердили целесообразность использования рекомендуемого состава, в %: C=2,5-3,0; Si=0,4-0,8; Mn=0,5-1,0; S,P=0,03; Cr=25,0-30,0; Ni=0,5-1,0; при этом  $\Sigma\text{C}+\text{Si}+\text{Mn}+\text{Ni}=4,5-5,5\%$ .

В качестве рекомендуемых режимов термической обработки выбраны (отжиг  $700^{\circ}\text{C}$ , закалка  $1000^{\circ}\text{C}$ , отпуск  $300^{\circ}\text{C}$ ) и (отжиг  $700^{\circ}\text{C}$ , закалка  $1100^{\circ}\text{C}$ , промежуточный отпуск  $450^{\circ}-600^{\circ}\text{C}$ , закалка  $940^{\circ}\text{C}$ , отпуск  $300^{\circ}\text{C}$ ).

*Первый* усовершенствованный вариант обеспечивает при нагреве под закалку достаточно полное растворение вторичных карбидов в твердом растворе, но не дает резкого роста количества остаточного аустенита при закалочном охлаждении. *Второй* вариант может быть отнесен к новому режиму, так как термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией для высокохромистых белых чугунов никогда не применялась. Этот режим термической обработки обеспечивает износостойкость более высокую, чем чугун насоса Warman (на 30%).

*Испытания износостойких твердосплавных покрытий.* Образцы с износостойкими твердосплавными покрытиями были получены при литье по газифицируемому моделям. На рабочую поверхность пеномодели наносили пасту, состоящую из порошка твердого сплава типа «Сормайт» ПГ-С27 и связующего. Толщина покрытия на образце из стали 35ГЛ составляла 3 мм.



Состав порошка был выбран таким, чтобы содержание углерода, кремния и никеля было пониженное и соответствовало составу высокохромистого белого чугуна плавки 939, а вольфрам был менее 0,2%.

Результаты испытаний на износ совпадают с данными по изменению параметров структуры. Если принять за эталон образец с твердосплавным покрытием, но без термической обработки, как это принято при наплавке деталей твердыми сплавами, то можно сделать вывод о том, что термическая обработка увеличивает износостойкость твердосплавного покрытия почти в 1,5 раза (на 50%), а термообработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает износостойкость и долговечность почти вдвое (на 100%).

Реализация рекомендуемого состава высокохромистого белого чугуна и способа термической обработки была произведена в ООО «ДРЗ». Этот завод выпускает 720 000 штук литых цельпечсов в год. Способы нанесения твердосплавного покрытия при литье по газифицируемым моделям и по новым режимам термообработки были реализованы на производственных предприятиях ХК «Metallmexqurilish» и АО «Узметкомбинат».

Анализ результатов испытаний показал, что цельпечсы, изготовленные предприятием ООО «ДРЗ», химический состав которых соответствовал рекомендованному составу, после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией имели срок службы в 1,5 раза выше (на 50%), чем импортные, то есть 600-724 часа против 350-400 часов.

Внедрение в производство ООО «Дальварзинский ремонтный завод» рекомендуемого химического состава высокохромистого белого чугуна и оптимального режима термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией дало фактический экономический эффект - 86 400 000 сум, а ожидаемый эффект - 144 000 000 сум.

Более обширные работы были выполнены при внедрении в производство ХК «Metallmexqurilish» и АО «Узметкомбинат» технологии нанесения твердосплавного покрытия рекомендуемого состава на рабочие поверхности литых деталей почвообрабатывающих сельхозмашин и металлургического оборудования с твердосплавным покрытием с толщиной слоя 2-3 и более мм.

Были проведены полевые испытания литых деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Например, зубья бороны, наральников, лапы культиваторов и чизельные лапы культиваторов испытывали почти во всех областях (районах) Республики Узбекистан.

Для получения сравнительных результатов испытывали детали различного производства: серийные производства российских заводов, серийные производства АО «Чирчикский завод сельскохозяйственной техники», АО «Агрегатный завод» и другие, а также литые детали с твердосплавным покрытием рекомендуемого состава после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией (опытная партия деталей). Результаты испытаний показали, что износостойкость литых деталей опытной партии в 3,5 раза выше, чем серийных местных и в 1,6 раза серийных российских (на 250-260%).



Данная технология внедрена на производственных предприятиях ХК «Metallmexqurilish» с фактическим экономическим эффектом - 95 388 204 сум, а ожидаемый эффект - 190 776 408 сум и АО «Узметкомбинат», где фактический экономический эффект - 65 466 505 сум, а ожидаемый экономический эффект составил - 78 933 010 сум.

Суммарный экономический эффект, связанный с выполненной настоящей работой, составил:

фактический  $86\,400\,000 + 95\,388\,204 + 65\,466\,505 = 247\,254\,709$  сум;  
ожидаемый  $144\,000\,000 + 190\,776\,408 + 78\,933\,010 = 413\,709\,418$  сум.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных научных исследований по докторской диссертации на тему «Легирование и термическая обработка высокохромистых сплавов для изготовления износостойких деталей и покрытий при литье по газифицируемым моделям» представлены следующие основные выводы:

1. Разработаны составы и технологии для изготовления литых деталей из высокохромистого белого чугуна и твердосплавного покрытия, обеспечивающие износостойкость на требуемом уровне. Исследования в данной отрасли имеют важное значение при производстве износостойких и твердосплавных покрытий;

2. Разработана технология снижения содержания кремния, марганца, никеля в сплавах марок ИЧХ28Н2 и 300Х32Н2М2ТЛ, исключение составляют содержание молибдена, вольфрама, титана и уменьшение содержания серы до 0,03%. Исследования в данной отрасли имеют особое значение при оптимизации химического состава сплавов;

3. Разработаны режимы, обеспечивающие полное фазовое превращение и получение заданной структуры и свойств при термической обработке. Исследования в данной области служат для обеспечения суммарного содержания С+Si+Mn+Ni в интервале 4,5-5,5% в составе высокохромистых белых чугунов и наплавочных материалов;

4. Разработан режим, обеспечивающий повышение содержания марганца и снижение содержания серы в высокохромистых белых чугунах и наплавочном материале металлической основы мартенсита и бейнита с эвтектической структурой. Полученные результаты имеют важное значение при получении необходимой структуры сплавов;

5. Разработан механизм формирования структуры твердосплавного покрытия при литье детали по газифицируемым моделям. Полученные результаты имеют важное значение при создании легкоплавких твердых сплавов и жидких расплавов с взаимнообразующими переходными структурами;

6. Разработаны впервые оптимальные режимы высокохромистых сплавов при проведении термической обработки, процессов нагрева и охлаждения фазовых и структурных превращений. Исследования в данной отрасли имеет важное значение при получении необходимой структуры сплавов;

7. Разработаны методы, обеспечивающие плотность дислокации с высокой степенью наследственности при получении тетрагональности мартенсита в позиции перехода в атомы углерода. Исследования в данной отрасли имеют важное значение при получении высокохромистых сплавов;

8. Разработан график высокохромистого белого чугуна в зависимости от параметров структуры, что обеспечивает износостойкость деталей цилиндров и рабочих колес импортного производства;

9. Разработаны химические составы и режимы термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией высокохромистых сплавов, обеспечивающие высокую износостойкость на 30% при абразивном изнашивании. Исследования в данной области имеют важное значение при повышении износостойкости сплавов;

10. Разработаны технологии получения литых деталей почвообрабатывающих машин с износостойким твердосплавным покрытием типа сормайт ПГ-С27 с предлагаемым составом и термической обработкой методом литья по газифицируемым моделям. Полученные результаты дали возможность повысить износостойкость деталей рабочих органов.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
SCIENCES DSc.27.06.2017.FM/T.03.04 UNDER TASHKENT STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY AND THE NATIONAL UNIVERSITY OF  
UZBEKISTAN**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**TILABOV BAXODIR KURBANOVICH**

**ALLOYAGE AND HEAT TREATMENT OF HIGH-CHROME ALLOYS  
FOR MANUFACTURING WEAR-RESISTANT PARTS AND  
COATINGS CASTING BY GASIFIED MODELS**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry. Heat treatment  
and processing of metals under pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous  
and rare metals (foundry and of metals under pressure)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR DISSERTATION (DSc)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent - 2017**

**The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.DSc/T5.**

The doctoral dissertation carried out at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz) and on the website «Ziyonet». Information and educational portal [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Muhamedov Anvar Akbarovich</b> doctor of technical sciences, professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Maxkamov Rufat Gulyomovich</b> doctor of technical sciences, professor Academic of AS Republic of Uzbekistan
	<b>Mixridinov Rickidin Mixridinovich</b> doctor of technical sciences, professor
	<b>Abdullaev Fatxulla Cagdullaevich</b> doctor of technical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>«Agregat plant» Joint-stock company</b>

The defense will take place «20» July 2017 at 14-00 at the meeting of scientific council DSc.27.06.2017.FM/T.03.04 at Tashkent State Technical University and National University of Uzbekistan located at 2, University street, Tashkent, 100095. Tel/fax No (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of Tashkent State University (registration number 23). (Address: 100095, Tashkent, st. University, 2. Tel/Fax: (99871) 246-46-00).

Abstract of dissertation sent out on «07» July 2017 y.  
(mailing report №23 on «07» July 2017 y).

**K.A.Karimov**

Chairman of scientific council for  
awarding degree,  
doctor of technical sciences, professor

**N.D.Turakhodjaye**

Scientific secretary of scientific council  
for awarding degree, doctor of technical  
sciences, professor

**N.D.Turakhodjaye**

Chairman of scientific council seminar at the  
Scientific Council for the awarding academic degrees,  
doctor of technical sciences, professor

# DOCTORAL (DSc) DISSERTATION ABSTRACT ON TECHNICAL SCIENCES

## Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

### INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

**The aim of the research work** is to develop the optimal chemical composition and heat treatment regimes for high-chromium white cast irons and hard-alloy coatings.

**The tasks of research** obtaining cast parts on the basis of high-chromium alloys, as well as the justification and choice of the composition for obtaining parts of soil-cultivating machines with wear-resistant carbide coating obtained by casting on gasified models;

development of the composition of the alloy, which should be economically-doped, do not form structural components that hamper phase transformations during heat treatment;

development of unconventional modes of heat treatment that will maximize the potentialities of a high-chromium alloy with increasing wear resistance by creating structures of a metal base with a high level of dislocation density and with dispersed particles of the second phase, secondary carbides;

the achievement of real products differing from wear-resistant and imported parts, carrying out tests for natural wear resistance after the final thermal treatment of pilot batches of cast parts of machines and equipment from the proposed white cast iron and carbide coating, the introduction of the results of scientific research carried out at enterprises.

**The object of the research work** is samples of impellers and culbeps from high-chromium white cast iron, cast parts with carbide-tipped coating, manufactured by casting on gasified models.

**The scientific novelty of the research work:** the optimal composition of high-chromium white cast iron was calculated for the sum of C + Si + Mn + Cr + Ni elements, which provides the formation of the structure and properties required for heat treatment;

the harmful effect of sulfur has been determined to reduce the wear resistance of high-chromium alloys;

the mechanism of structure formation is developed at drawing on working surfaces of details of carbide coatings by casting on gasified models;

the phase heredity of the parameters of the fine structure of the metal base of high-chromium cast irons and alloys during phase recrystallization during the final thermal treatment is determined;

experimental conditions for the existence of an extreme temperature of heating of a high-chromium alloy are developed, when after cooling of the alloy in its metallic base a structure with a very high dislocation density is formed. With repeated phase recrystallization, the dislocation data is inherited;

the use of the heredity effect of the fine structure during double phase recrystallization is revealed, which increases the wear resistance of the alloy by 33-35% and it becomes higher than that of the imported alloy, and for wear-resistant coatings - by 80-82%.

**The outline of the thesis.** Dissertation work consists of introduction, 5 chapters, conclusion, references and annexes. The volume of thesis is 195 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Тилабов Б.К. Основы теории и технологии нового перспективного процесса получения литых деталей машин с износостойким твердосплавным покрытием путем литья по газифицируемым моделям. Монография.– Ташкент. «Фан ва технология», 2015. (10 п.л). - 160 с.

2. Тилабов Б.К. Применение серого и ковкого чугуна в автотракторном сельхозмашиностроении // Композиционные материалы. Изд-во УзРНТК «Фан ва тараққийёт». – Ташкент, 2011. №1. - С.63-67. (05.00.00; №13).

3. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Повышение срока работы литых деталей металлургического оборудования и почвообрабатывающих машин с твердосплавным покрытием и термическим упрочнением // Доклады Академии Наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2014. №1. - С.39-42. (05.00.00; №9).

4. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Решение проблемы технологии получения литых деталей машин и механизмов с твердосплавным износостойким покрытием из местного сырья Республики Узбекистан // Узбекский журнал Проблемы Механики. – Ташкент, 2014. №1. - С.37-42. (05.00.00; №6).

5. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Повышение твердости и износостойкости литых цилиндров, изготовленных из белого высокохромистого чугуна для цементного производства республики // Узбекский журнал Проблемы Механики. – Ташкент, 2014. №1. - С.86-89. (05.00.00; №6).

6. Tilabov B.K. Heat treatment cast parts with carbide wear resistant coatings obtained by casting on gasified models // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2014. №1. - С.93-98. (05.00.00; №16).

7. Тилабов Б.К. Надежность и долговечность наплавочного твердого сплава типа ПГ-С27 с метастабильным аустенитом и мартенситом // Композиционные материалы. – Ташкент, 2014. №1. - С.22-26. (05.00.00 №13).

8. Тилабов Б.К. Перспективная технология получения литых деталей сельскохозяйственных машин и механизмов с износостойким твердосплавным покрытием из местного сырья Республики Узбекистан // Ўзбекистон «Агро илм» аграр-иқтисодий, илмий-амалий журнали. – Ташкент, 2014. №1. - С.69-71. (05.00.00; №3).

9. Тилабов Б.К. Определение микротвердости образцов, изготовленных из высоколегированного твердого сплава путем литья по газифицируемым моделям // НТЖ ФерПИ. – Фергана, 2014. №2. - С.38-44. (05.00.00; №20).

10. Тилабов Б.К. Юқорилегирланган ва углеродли пўлатлардан тайёрланган куйма деталларнинг пухталиги ва ейилиш бардошлигини термик

ишлов бериш усуллари билан ошириш // Композиционные материалы. – Ташкент, 2014. №2. - С.29-33. (05.00.00; №13).

11. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. О глубинном поверхностном покрытии стальных деталей при литье по газифицируемым моделям // Композиционные материалы. – Ташкент, 2014. №3. - С.70-73. (05.00.00 №13).

12. Тилабов Б.К. Инновационные технологии получения и применения износостойких твердосплавных покрытий для литых деталей машин и механизмов // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2014. №2-3. - С.66-71. (05.00.00; №11).

13. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А., Восидов А.Х., Кодиров М.Ж. Исследование причин ускоренного износа барабанных цилиндров, изготовленных из высокохромистого белого чугуна в литейном цехе ООО «ДРЗ» // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2014. №3. - С.148-153. (05.00.00 №16).

14. Тилабов Б.К. Перспективная технология получения литых деталей с оптимальным химическим составом и улучшенными механическими свойствами // Химия и химическая технология. ТХТИ. – Ташкент, 2015. №1. - С.53-57. (02.00.00; №3).

15. Тилабов Б.К. Способы изготовления пеномоделей и получения литых деталей зубьев борона с твердосплавным сормайтвым покрытием путем литья по газифицируемым моделям и их последующая термическая обработка // Вестник ТашГТУ (спец. вып). – Ташкент, 2015 (91). - С.151-157. (05.00.00; №16).

16. Тилабов Б.К. Измерение микротвердости поверхностных и подповерхностных слоев литых стальных деталей до и после термической обработки с двойной фазовой перекристаллизацией // Композиционные материалы. – Ташкент, 2015. №4. - С.84-86. (05.00.00; №13).

17. Тилабов Б.К. Износостойкие материалы для литых деталей машин и механизмов // ИТЖ ФерПИ. – Фергана, 2016. Том20. №1. - С.24-30. (05.00.00; №20).

18. Тилабов Б.К. Республика цемент саноатларидаги барабан тегиримонлари учун куйма ейилишга бардошли цилиндрлар тайёрлаш муаммоларини ечиш // Ўзбекистон Механика муаммолари журнали. – Тошкент, 2016. №1. - С.101-105. (05.00.00; №6).

19. Тилабов Б.К. Куймакорлик усулининг ер формасида куйма цилиндрларни олиш технологияси ва термик мустахкамлаш режимлари // ФарПИ ИТЖ. – Фарғона, 2016. Том 20. №2. - С.49-53. (05.00.00; №20).

20. Патент РУз №IAP 0473. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А. Способ получения и термической обработки литых деталей с твердосплавным износостойким покрытием // РУз, Агентство интеллектуальной собственности // Расмий ахборотнома. – Тошкент, 2013. №11 (151). - Б.27-28.

21. Tilabov B.K., Muhamedov A.A. Increased durability of iron parts by thermal treatment with double phase recrystallization. European applied sciences. Europaische Fachhochschule. ORT Publishing. Germany, 2015. #8. - S.49-53. (05.00.00; №5).

22. Tilabov B.K. Improving working efficiency and durability of cast parts of tilling machines // European Science Review. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Viena. Austria, 2016. #7-8. - S.23-27. (05.00.00; №3).

### **II бўлим (II часть; II part)**

23. Tilabov B.K. Optimal modes of heat treatment to improve the abrasive wear resistance of cast machine parts. European applied sciences. Europaische Fachhochschule. ORT Publishing. Germaniy, 2016. #3. - S.35-38.

24. Tilabov B.K., Muhamedov A.A. The determination of the causes for premature release from the array of cast cylpebs made from white high chromous cast iron and their subsequent thermal treatment. Известия на Технически университет Габрово. Journal of Technical University of Gabrovo. Bulgaria. 2014. Vol. 48. - S.20-24.

25. Tilabov B.K. Heat treatment of wear resistant hardalloed coating of the details obtained by casting on gasified models. Известия на Технически университет Габрово. Journal of Technical University of Gabrovo. Bulgaria. 2015. Vol. 49. - S.11-14.

26. Тилабов Б.К. Влияние химического состава на структуру и свойства высокохромистого белого чугуна. Научный журнал «Актуальные вопросы современной науки». – Москва, 2016. №1 (№9). - С.28-32.

27. Тилабов Б.К. Термическая двойная закалка как эффективный метод экономии материальных ресурсов. Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства. Труды III Международной научно-технической конференции. Тольяттинский государственный университет. – Тольятти, 2011. - С.312-316.

28. Тилабов Б.К., Мирошниченко А.М., Гудцова Л.А. Исследование поверхностного слоя углеродистых и легированных сталей после нагрева ТВЧ. Сборник материалов Международной научно-практической конференции на тему: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» 19-20 апреля 2012 г. Андижанский машиностроительный институт. – Андижан, 2012. - С.223-226.

29. Тилабов Б.К., Пулатов Г., Якубов А. Высокохромистые белые чугуны с хромом и никелем. Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Республиканский межвузовский сборник. ТашХТИ. – Ташкент, 2012. - С.255-258.

30. Тилабов Б.К., Якубов Л.Э., Пулатов Г.М., Елисеенко Н.Ф. Биметаллический композиционный материал для сельскохозяйственной техники. Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Республиканский межвузовский сборник. ТашХТИ. – Ташкент, 2012. - С.258-261.

31. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А., Кодиров М.Ж. Структурные факторы повышения износостойкости литых цилиндров, изготовленных из высокохромистого чугуна. Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сборник научных трудов I Международной



заочной научно-технической конференции. Южно-Уральский государственный университет РФ. К 70-летию кафедры Технологии машиностроения. – Челябинск, 2014. - С.198-203.

32. Тилабов Б.К., Мухамедов Аз.А., Умаров Т.У., Тураходжаев Н.Д. Металл ва қотишмалар қаттиқлигини ўлчашнинг назарий ва амалий усуллари. Техник ва ижтимоий-иқтисодий фанлар соҳаларининг муҳим масалалари. Республика Олий ўқув юртлараро илмий ишлар тўплами I-қисм. – Тошкент, 2014. - С.170-175.

33. Тилабов Б.К. К выбору материала для цементного производства барабанных мелющих цилиндров // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Ингредиенты из местного и вторичного сырья для получения новых композиционных материалов» 10-11 апреля 2014 г. ГУП «Фан ва тараққиёт». – Ташкент, 2014. - С.112-113.

34. Тилабов Б.К. Об эксплуатационной стойкости металлокомпозиционных твердосплавных литых стальных деталей // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Ингредиенты из местного и вторичного сырья для получения новых композиционных материалов» 10-11 апреля 2014 г. ГУП «Фан ва тараққиёт». – Ташкент, 2014. - С.114-115.

35. Тилабов Б.К., Мухамедов А.А., Исраилов А.Т., Кадыров М.Ж. Структура и свойства белого высокохромистого чугуна, применяемого в металлургической и цементной промышленности Республики Узбекистан // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Ингредиенты из местного и вторичного сырья для получения новых композиционных материалов» 10-11 апреля 2014 г. ГУП «Фан ва тараққиёт». – Ташкент, 2014. - С.306-308.

36. Тилабов Б.К. Прогрессивные технологии изготовления литых деталей машин с твердосплавным покрытием путем литья по газифицируемым моделям. Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении. Объединение научных, инженерных и коммерческих структур «ОНИКС». Сборник научных трудов. Ирбит, 2015. - С.209-214.

37. Абдулворисов А., Тилабов Б.К. Углеродли ва легирланган пўлатларни танлаш ва уларга термик ишлов бериш // Ёшларнинг Беруний Академияси «Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни» Республика илмий конференцияси. Маърузалар тўплами II-қисм. – Ташкент, 2015. - С.180-184.

38. Мухамедов А.А., Тилабов Б.К. Повышение качества литых деталей из высокохромистых сплавов // Республика Узбекистан НГМК, Навоийский государственный горный институт. Материалы республиканской научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: проблемы и их решения» 8 апреля 2015 г. – Алмалык, 2015. - С.243.

39. Тилабов Б.К., Петрик А.В. Разработка и освоение производства отливки литых деталей при литье по газифицируемым моделям на предприятии ХК «Metallmexqurilish» // Материалы республиканской научно-технической

конференции. «Горно-металлургический комплекс: проблемы и их решения» 8 апреля 2015 г. – Алмалык, 2015. - С.250.

40. Тилабов Б.К. Износостойкий твердый сплав типа сормайт ПГ-С27 для нанесения на рабочую поверхность литых деталей машин и механизмов // Материалы республиканской научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: проблемы и их решения» 8 апреля 2015 г. – Алмалык, 2015. - С.251.

41. Тилабов Б.К. Качество пеномоделей и отливка деталей для литья по газифицируемым моделям // Программа республиканской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии получения композиционных материалов и изделий из них». ГУП «Фан ва тараққийёт» 28-29 апреля 2015 г. – Ташкент, 2015. - С.211-213.

42. Тилабов Б.К. Прогрессивные технологии изготовления отливок деталей из высокохромистого белого чугуна // Программа республиканской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии получения композиционных материалов и изделий из них». ГУП «Фан ва тараққийёт» 28-29 апреля 2015 г. – Ташкент, 2015. - С.220-222.

43. Тилабов Б.К. Пеномоделди газга айланувчи усул ёрдамида тайёрланадиган ейилишга бардошли куйма деталлар // Тошкент кимё-технология институти. Техник ва ижтимоий-иқтисодий фанлар соҳаларининг муҳим масалалари. Республика Олий ўқув юртлараро илмий ишлар тўплами I-қисм. – Тошкент, 2015. - С.268-269.

44. Тилабов Б.К. Упрочнение поверхностных и подповерхностных слоев твердосплавных литых деталей одинарной и двойной закалкой // Ташкентский химико-технологический институт. Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Республиканский межвузовский сборник II-часть. – Тошкент, 2015. - С.190-193.

45. Tilabov B.K., Vaxadirov K.G. Technical and technological basis for producing cast parts of machines with hard covering // 5-й Международной научно-практической конференции «Перспективное развитие науки, техники и технологий», 19-20 октября 2015 года в Юго-Западном государственном университете, г. Курск. – Россия, 2015. - С.6-9.

46. Тилабов Б.К. Инновационные технологии изготовления литых деталей в земляной форме для металлургических комбинатов и цементных заводов // Международная научно-практическая конференция «Инновация - 2015». Сборник научных статей. ТашГТУ. – Ташкент, 2015. - С.154-155.

47. Тилабов Б.К. Разработка технологии изготовления наральников рыхлящих лап культиваторов почвообрабатывающих машин с твердосплавным покрытием и термическим упрочнением // Материалы V Международная научная конференция. Технические науки в России и за рубежом (г. Москва, январь 2016). – М.: Буки-Веди, 2016. - С.33-36.

48. Тилабов Б.К. Литые детали почвообрабатывающих машин с износостойким твердосплавным покрытием // Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении – 2016. Объединение научных, инженерных

и коммерческих структур «ОНИКС». Сборник научных трудов. Свердловский обл. г. Ирбит. – Россия, 2016. - С.217-222.

49. Tilabov B.K. Increase the service life of cast parts tillihg machines // International Conference «Global Science and Innovation» March 23-24, 2016. USA. Chicago, 2016. - С.222-225.

50. Тилабов Б.К. Тоғ-кон ва нефтгаз тармоқларида ишлатиладиган деталларни ейилишга бардошли каттик қотишмали қопламалар билан ишлаб чиқаришнинг инновацион технологияси // Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами, 2016 й 8-9 апрель. Қарши, 2016. - С.160-162.

51. Тилабов Б.К. Машинасозлик ва қишлоқ хўжалик машиналарининг деталларини ишлаб чиқариш технологияси // III Международная научно-практическая конференция: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» 19-21 апреля 2016 года. Сборник научных статей. – Андижан, 2016. - С.120-125.

52. Tilabov B.K., Muhamedov A.A. Heat treatment high-chromium alloys // III Международная научно-практическая конференция: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» 19-21 апреля 2016 года. Сборник научных статей. – Андижан, 2016. - С.187-190.

53. Tilabov B.K. Wear resistance of constructional materials and structure of the built-up firm alloys // Science, Technology and Higher Education. Materials of the X International research and practice Conference. April 28-29, 2016. Westwood. – Canada, 2016. - S.180-187.

54. Тилабов Б.К., Юлдашев А.О. Оптимал кимёвий таркибли ва термик ишланган куйма цельпесларни абразив-коррозия ейилиш бардошлигини ишлаб чиқариш шароитида синаш усуллари. Республика Олий ўқув юртлараро илмий ишлар тўплами. 1-қисм. – Тошкент, 2016. - С.125-127.

55. Тилабов Б.К. Исследование твердосплавных деталей с оптимальным химическим составом // Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы инновационных технологий в развитии химической, нефте-газовой и пищевой промышленности» 26-27 мая 2016 года. ТХТИ, – Ташкент, 2016. - С.379-380.

56. Тилабов Б.К. Влияние химического состава и термической обработки на абразивно-коррозиестойкость белых чугунов // Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы инновационных технологий в развитии химической, нефте-газовой и пищевой промышленности» 26-27 мая 2016 года. ТХТИ, – Ташкент, 2016. - С.381-382.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлар мослиги текширилди (28.06.2017 й).

Босишга рухсат этилди: 07.07.2017 йил  
Бичими 60x45 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи 3,75. Адади: 100. Буюртма: № 163.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,  
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»  
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.