

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

ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАВОИЙ БЎЛИМИ

ЖУМАЕВ АХМАДЖОН АБДУВОХИДОВИЧ

**ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИ ОҚ ЧЎЯНЛАРНИНГ ХОССАЛАРИНИ
ЯХШИЛАШ МАҚСАДИДА УЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА
СТРУКТУРАСИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

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

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати
мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по техническим
наукам

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

Жумаев Ахмаджон Абдувохидович

Ейилишга бардошли оқ чўянларнинг

хоссаларини яхшилаш мақсадида уларнинг

таркиби ва структурасини оптималлаштириш 3

Жумаев Ахмаджон Абдувохидович

Оптимизация состава и структуры белых

износостойких чугунов с целью получения

требуемых эксплуатационных свойств 21

Jumaev Akhmadjon Abduvokhidovich

Optimizing the composition and structure of white

wear-resistant cast irons in order to obtain

required performance properties 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 43

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

ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАВОИЙ БЎЛИМИ

ЖУМАЕВ АХМАДЖОН АБДУВОХИДОВИЧ

**ЕЙИЛИШГА БАРДОШЛИ ОҚ ЧЎЯНЛАРНИНГ ХОССАЛАРИНИ
ЯХШИЛАШ МАҚСАДИДА УЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА
СТРУКТУРАСИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

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

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2.PhD/Т1586 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фанлар академияси Навоий бўлимида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (tstu.uz) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Мансуров Юлбарсхон Набиевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Нурмуродов Салоҳиддин Дусмуродович
техника фанлари доктори, профессор

Атажанов Гапур Латибович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Андижон машинасозлик институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 рақамли Илмий кенгашининг 2021 йил «28» август соат 11:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси 2-уй. Тел./факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (217-рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси 2-уй. Тел./факс: (99871) 227-10-32.

Диссертация автореферати 2021 йил «16» август куни тарқатилган.

(2021 йил «16» августдаги 125-рақамли реестр баённомаси).

К.А.Каримов

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

Ш.Б.Ташбулатов

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби, техника фанлари
бўйича фалсафа доктори, (PhD)

Н.Д.Тураходжаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда бугунги куннинг муҳим вазифаларидан бири, қуймакорлик усулида олинаётган металл ва қотишмалар мустаҳкамлигини ошириш, механик ва эксплуатацион хоссаларини яхшилаш орқали иқтисодий самарадорлигини юксалтириш етакчи ўринлардан бирини эгаллайди. Дунё миқёсида бу соҳада мақсадли илмий-тадқиқотлар, жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: ейилишга бардошли оқ чўянларнинг ишлаш муҳитини эътиборга олиб, қотишманинг таркибини замонавий дастурлар ёрдамида ҳисоблаш ва ишлаб чиқиш; оқ чўянлар қуйиб олиш жараёнларини оптималлаштириш; термик ишлов беришнинг янги оптимал меъёрларини ишлаб чиқиш ва фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳоннинг қора металл саноати ривожланган мамлакатларидаги металлургия корхоналарида ейилишга бардошли оқ чўянлардан сифатли қуймалар олиш учун қатор йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, оқ чўянларни қуйиб олувчи мамлакатлар орасида АҚШ, Россия, Германия, Англия, Канада, Бразилия, Япония, Австралия, Украина, Польша, Ҳиндистон, Хитой, Беларусь, Эрон, Мексика ва бошқа давлатлар етакчи ҳисобланади. Йилдан-йилга ишлаб чиқариш миқдорининг ошиши сабабли ейилишга бардошли оқ чўянлардан тайёрланадиган деталларнинг сифатига бўлган талабнинг ортиши ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган самарали усул асосида сифатли оқ чўянлардан қуйма деталлар олиш технологиясини яратишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамиз мустақилликка эришгандан сўнг мамлакатимизда, металлургия ва кончилик саноатларини ривожлантириш қолаверса, импорт ўрнини босувчи ейилишга бардошли оқ чўянлардан тайёрланган деталлар ишлаб чиқариш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Бу борада оқ чўянлар қуйиб олиш технологияларини янада оптималлаштириш, олинган қуйма деталлар сифатини ошириш, деталлар тайёрлашни янги замонавий технологияларини қўллаш асосида ушбу саноатларни замонавий талаблар асосида ривожлантириш, жумладан, қуйма деталларнинг ейилишга бардошлилигини ошириш учун қотишмаларнинг оптимал таркиби ва термик ишлов бериш меъёрларини ишлаб чиқишни ва амалиётга жорий этишни тақозо этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»¹ ги ПФ-4947-сон фармонлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг

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

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳоннинг етакчи олимлари, жумладан АҚШ тадқиқотчилари С.Р.Табретт, L.Arias, ейилишга бардошли оқ чўянларни термик ишлов беришда фазалар ўзгариши унинг хоссасига таъсирини аниқлаган, Япония олими Ю.Матсубара термик ишлов беришнинг оқ чўянлар металл асоси ва карбид фазаларига таъсирини тадқиқ қилишган, Польша тадқиқотчилари Е.В.Розенберг, Д. Копусинский термик ишлов бериш ёрдамида қотишмаларнинг механик ва эксплуатацион хоссаларини ошириш технологиясини ишлаб чиқишган.

МДХ давлатлари тадқиқотчилари, хусусан, Россия олимлари Г.И. Сильман, И.И.Ципин, А.А.Жуков, М.М.Ямшинский, К.С. Радченколар ейилишга бардошли оқ чўянларни термик ишлов бериш билан биргаликда уларни пўлат қолипларда куйиб олишнинг қотишма микроструктураси фазалари ўзгаришларнинг фундаментал қонуниятларини яратишган, Беларусь олимлари К.Э.Барановский, В.М.Илшенко, ҳамда Ўзбекистон тадқиқотчилари А.А.Мухамедов, Дж.Дж.Маматқулов ва бошқалар ейилишга бардошли оқ чўянларнинг хоссасини ошириш бўйича ноанъанавий термик ишлов бериш усулларини ишлаб чиқишган.

Ейилишга бардошли оқ чўянларни куйиб олиш жараёнида ташқи совуткичлардан фойдаланиш натижасида қотишма структурасида жойлашган карбид фазаларни ишқаланиш юзасига нисбатан перпендикуляр жошлаштириш, металл асос ва карбидларни ўзаро мустаҳкам боғланиши учун термик ишлов беришнинг оптимал меъёрлари кўлланилиши масалалари етарлича ўрганилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Фанлар академияси Навоий бўлими ва Навоий давлат кончилик институти илмий тадқиқот режасининг Ф2-010-сон «Кон ускуналари деталларига термоциклик ишлов бериш илмий асосларини ишлаб чиқиш» (2017-2020 й.й.) фундаментал лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади. Кончилик саноатида абразивли ва зарбли-абразивли муҳитларда кўлланиладиган ейилишга бардошли оқ чўяндан импорт деталларни маҳаллийлаштириш, уларни структура ва хоссаларини саноатнинг талаб даражасига олиб чиқиш. Ейилишга бардошли тежамкор таркибини оптималлаштириб, легирловчи моддаларни тежашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

- кўлланилаётган қотишмаларни кимёвий таркиби, структура ва хоссаларини таҳлил қилиш асосида, уларни таркибини соддалаштириб, хоссаларини ишлаб чиқариш талабига мослаштириш;

- уч-, тўрт- ва кўпкомпонентли ҳолат диаграммаларининг фазавий таркиби, мувозанати ва кристалланишдаги уларни структураларини таҳлил қилган ҳолда кимёвий таркибини соддалаштириш;

- қуймакорлик, термик ишлов бериш технологияларини таҳлил қилган ҳолда уларнинг параметрларини оптималлаштириш;

- модели қотишмаларни кимёвий таркиби, структураси ва хоссаларини таҳлил қилган ҳолда, амалда қўлланилаётган ейилишга бардошли оқ чўянларни кимёвий таркибини соддалаштириб, механик ва эксплуатацион хоссаларини ошириш.

Тадқиқотнинг объекти. Намуна сифатида ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ маркали ейилишга бардошли оқ чўян ва шунингдек, аналог сифатида хорижий қотишма ASTM A-532 танлаб олинган.

Тадқиқотнинг предмети ейилишга бардошли оқ чўянларнинг таркибига боғлиқ ҳолда структура ва эксплуатацион хоссалари ўзгаришини, ейилишга бардошли оқ чўянлардан тайёрланган деталлар структурасини шакллантириб, деталлар олиниш технологиясини ва термик ишлов бериш ёрдамида ейилишга бардошли оқ чўянлар хоссаларни ўзгариш қонуниятлари ташкил этади.

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

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- оқ чўянлар асоси бўлган Fe – С ҳолат диаграммасининг назарияси легировчи элементлар (хром 45% гача), никель 10% гача, марганец 10% гача, углерод 4% гача, кремний 5% гача, титан 10% гача, молибден 5% гача, ванадия 6% гача) ёрдамида фазавий ўзгаришлар, жумладан, қаттиқ эритма, карбидлар кимёвий таркиби аниқланиб, ушбу олинган натижалар билан бойитилган;

- уч-, тўрт- ва кўпкомпонентли (Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr-Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn) ҳолат диаграммалари, изо- (200⁰С), политемик кесимлар тадқиқ қилиш асосида оқ чўяндаги фазавий мувозанат ва ўзгаришларга аниқлик киритилган. Жумладан, хром 16 дан 34% гача, никель 0,4 дан 3% гача, марганец 0,4 дан 2% гача, углерод 2,4 дан 4% гача, кремний 0,3 дан 2% гача, титан 0,4 дан 5% гача, молибден 0,2 дан 3% гача, ванадий 0,01 дан 2% гача нисбий миқдорлари оралиқда ҳосил бўлган фазалар аниқланган;

- қотишмада темир асосидаги қаттиқ эритманинг миқдори 61-64%, карбид фазаларнинг 36-39% мавжудлиги, кўпкомпонентли системаларда TiC, Cr₃Si аниқланган, кремний ўз ичига олган фазани, шу билан кристалланиш доирасини кенгайтириши, қотишманинг қуйиш хусусиятларини ошириши исботланди. Титан карбиди қотишмаларни қаттиқлигини ошириши, структура дондорлигини майдалаштиришга ёрдам берган;

- юқори легирланган чўянларда карбид туралари аниқланди. Қотишмада легировчи элементлар миқдори ошгани сайин, қотишмаларда қуйидаги карбидлар шклланиши мумкинлиги аниқланди: M₃C, M₆C, M₅C₂, M₇C₃, M₂₃C₆.

Мураккаб легирланган карбидларининг йўналтирилган кристалланиш ижобий таъсирига эришилган;

- оқ чўяннинг асоси бўлган углерод миқдори 2,6-2,9%, ҳамда анъанавий легирловчи моддалар: хром (26-29%), никель (0,5-1,5%), марганец (0,4-0,8%), кремний (1,5% гача) элементларига қўшимча ванадий (0,01-0,02%) таркибли қотишма яратилган;

- янги оқ чўян учун ейилишга бардош деталларни ишлаб чиқариш учун ташқи совуткич қўлланган қуйиш технологияси (қуйиш температураси $1390 \pm 10^{\circ}\text{C}$, совуш тезлиги $202 \pm 3^{\circ}\text{C}/\text{соат}$) ҳамда термик ишлов параметрлари (нормаллаш $940 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 3соат, бўшатиш $230 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 2,5 соат) ўрнатилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

- Thermo-Calc дастури ёрдамида оқ чўянлар асоси – уч-, тўрт- ва кўпкомпонентли қотишмалар ҳолат диаграммалари тузилиб, «Металлшунослик» фанига қўшимчалар киритилди ва уларни амалий қўлланилиши таъминланган;

- қуйиш жараёнида қуйма совуткичлардан фойдаланиб, саноатда ишлаб чиқарилган деталларнинг ейилишга ишлайдиган қисми структурасини йўналтирилган ҳолатга келтирилиб, деталларни эксплуатацион хоссалари талаб даражасига олиб чиқилди, яъни: деталнинг ишчи юзаси структурасида ҳосил қилинган M_3C дан M_{23}C_6 гача типдаги карбидлар ишчи юзага нисбатан перпендикуляр жойлашишига эришилган;

- ейилишга бардошли оқ чўянларнинг механик хоссаларини ўрганиш ва микроструктуравий таҳлил қилиш асосида, улардан тайёрланган деталларнинг механик хоссалари 20% га оширилиб, уларнинг тан нархи эса, 30% га арзонлаштирилган;

- яратилган ейилишга бардошли оқ чўян қотишмасидан тайёрланган деталларга термик ишлов беришнинг оптимал параметрлари қўлланилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги диссертация тадқиқотида замонавий усуллар жиҳозларда металлография ва рентгеноструктура таҳлиллари, элемент таҳлил, макроқаттиқлик 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.

Ўзбекистонда биринчи мартаба Thermo-Calc дастури ишлатилган, натижада оқ чўяннинг тежамкор таркиби тавсия этилган. Янги тежамкор оқ чўян маркаси қумли қолипларда қуйма совуткичлар ёрдамида деталлар тайёрлаш технологияси жорий этилиб термик ишлов беришнинг оптимал меъёри орқали ишлов бериб оқ чўянларнинг структуралари яхшиланган, механик ва эксплуатацион хоссалари кескин ошиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ейилишга бардошли оқ чўянларни қўшимча легирлаш ёки модификаторларнинг ҳисобига эмас, балки қуйиш жараёни ва термик ишлов беришнинг оптималлаштириш орқали абразив

ейилиш шароитларида ишлайдиган деталларнинг таннархини пасайтириб, ишлаш муддатларини эса узайтирганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ейилишга бардошли оқ чўянлар қуйиб олиш усуллари бўйича олинган натижалар асосида:

- таклиф этилган оқ чўян маркасидан қумли қолипларда қуйма совуткичлар ёрдамида «таъминловчи диск» детали тайёрланди ва термик ишлов беришнинг оптимал меъёри билан ишлов берилган. «Таъминловчи диск» детали ишлаб чиқариш жараёнида, оқ чўян кимёвий таркиби соддалаштирилганлиги сабали ҳар бир ишлаб чиқарилган 1 тонна қотишмада легирловчи элементлар, жумладан, феррохром 40%га, никель 45%га, бошқа кимёвий элементларнинг барчаси ўрта ҳисобда 10 – 20%га иқтисод қилинган;

- таклиф этилган оқ чўян кимёвий таркиби, унга қуйиш технологиясига ўзгартириш ва термик ишлов бериш технологиясини оптималлаштириш натижалари Навоий кон-металлургия комбинатининг Навоий машинасозлик заводида жорий этилган (НКМКнинг 2021 йил 1 июндаги 02-06-04/6177-сон ва 2020 йил 24 февралдаги 02-06-07/2390-сон маълумотномаси). Натижада, олинган қуймаларнинг зарбий қовушқоқлиги 1,2-1,5 бараварига, қаттиқлиги 1,2-1,5 бараварига оширилишига эришилган;

- легирловчи элементларни кам қўлланилиши, деталларни механик хоссалари яхшиланиши, ҳамда кончилик асбоб ускуналари Навоий кон-металлургия комбинатининг Навоий машинасозлик заводида жорий этилган (НКМКнинг 2021 йил 1 июндаги 02-06-04/6177-сон ва 2020 йил 24 февралдаги 02-06-07/2390-сон маълумотномаси). Натижада, деталларнинг хизмат муддатини 20% га ўзайтирилган ва қуймаларни тан нархини 30% га камайишига эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот натижалари 13 та, жумладан 7 та халқаро ва 6 та Республика илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 27 та илмий ишлар чоп этилган. Ўзбекистон Олий Аттестация Комиссияси томонидан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этилиши тавсия қилинган илмий нашрларда 8 та мақола, жумладан 5 таси Республика ва 3 таси (2 таси Scopus базасидаги) хорижий журналларда нашр этилган, 1 та UZ FAP 01572 (2020 й.) рақамли фойдали моделга патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 117 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, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ейилишга бардошли оқ чўянлар хақида умумий маълумот**» деб номланган биринчи бобида мавзу бўйича адабиётлар таҳлил қилиниб, абразивли, коррозион-абразивли ва зарбли-абразивли ейилиш муҳитларида қўлланиладиган деталлар учун оқ чўянларнинг таркиби, хоссалари ўрганилган ва уларнинг қўлланилиш соҳаларидан келиб чиққан ҳолатда таҳлил қилинган. Ейилишга бардошли оқ чўянлар структурасидаги метал асос ва карбид фазалари ва уларни шакллантириш услублари қолаверса, оқ чўянлар хоссаларига карбид фазаларнинг таъсири ўрганилган. Легирловчи элементларни оқ чўянлар механик ва эксплуатацион хоссаларига таъсири таҳлил қилинган.

Республикамизнинг қурилиш, металлургия ва кончилик саноатлари учун муҳим ҳисобланган ейилишга бардошли деталларни эксплуатация жараёнидан келиб чиққан ҳолда ўрганиш ва таҳлил қилиш асосида қуйидаги хулосаларга келинган:

Ўзбекистон Республикасининг қатор қорхоналарида ейилишга бардошли чўянлардан деталлар қумли қолипларда тайёрланиб, термик ишлов беришнинг нисбатан эски меъёрларидан фойдаланиб келинмоқда. Бу эса, ейилишга бардошли оқ чўянларни потенциал имкониятларидан тўлиқ фойдаланишга тўсқинлик қилмоқда;

оқ чўянларни хоссаларини яхшилаш мақсадида қиммат легирловчи элементлардан (Mn, Cr, Ni, Mo, Ti) фойдаланилмоқда, бу эса, улардан тайёрланган деталларнинг таннархини ўта қимматлашишига олиб келган;

оқ чўяндан олинган қуйма деталларнинг структураси ва хоссалари қотишма кристалланиш жараёнида шаклланади. Бунда қотишма секин совуши туфайли структурада катта миқдорда қолдиқ аустенит ва катта ўлчамдаги тартибсиз карбидлар ҳосил бўлиши натижасида қотишманинг механик ва эксплуатацион хоссалари кескин пасайган.

Ушбу муаммоларни ҳал этиш учун қуйидаги вазифаларни ишлаб чиқиш лозим:

кенг қўламда фойдаланиладиган ИЧ280Х29НЛ ва ИЧ300Х32Н2М2ТЛ маркали чўянлар таркибида қимматбаҳо элементлар, вольфрам ва титан бўлмаслиги, молибден, никель ва хромнинг миқдори максимал даражада камайтириш, лекин, қуймалар қуйиб олиш ва термик ишлов беришнинг оптимал меъёрларини қўллаш орқали қотишма механик ва эксплуатацион хоссаларини таъминлаш керак;

Thermo-Calc дастури ёрдамида икки, уч ва кўп компонентли ҳолат диаграммаларни таҳлил қилиш орқали ейилишга бардошли чўянларни тежамкор таркибини ишлаб чиқиш зарур;

Ейилишга бардошли чўянларни механик ва эксплуатацион хоссаларини, қотишмага қўшимча легирловчи элементлар қўшиш ҳисобига эмас, балки

қотишма қуйиш жараёни технологияси ва параметрларини ҳамда термик ишлов беришнинг оптимал меъёрларини қўллаган ҳолда яхшилаш мумкин.

Диссертациянинг «Тадқиқот материаллари ва услублари» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот объекти сифатида Навоий кон-металлургия комбинатида рудаларни майдалаш мақсадида фойдаланиладиган ИЧ280Х29НЛ ва ИЧ300Х32Н2М2ТЛ маркали оқ чўянлардан намуналар кумли қолипларда тайёрланди ҳамда импорт қилиб олиб келинган ва ўз ишлаш муддатини ўтаган ASTM A532 маркали оқ чўяндан тайёрланган деталлардан кесиб олинган намуналарнинг механик ва микроструктуравий хоссалари аниқланди. Тадқиқот материаллари учун фойдаланилган намуналарнинг кимёвий таркиби НКМК Навоий машинасозлик заводи марказий лабораториясида Spectro-Lab-M русумли спектрал жиҳозда таҳлил қилинди (1-жадвал). Бундан ташқари оқ чўян намуналари лаборатория шароитида СНОЛ 3/11 русумли муфел печда, ишлаб чиқариш шароитида эса Н-85 русумли электр печда термик ишлов берилди. Микроструктуравий тадқиқотлар TESCAN MIRA сканерловчи электрон микроскопида «МИСиС» (НИТУ МИСиС, Россия) Миллий тадқиқот технологиялар Университетида ва НКМКнинг марказий тадқиқотлар лабораторияси OLYMPUS BX53 оптик микроскопида 200 мартадан 5000 мартагача катталаштириш билан амалга оширилди.

1-жадвал

ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ ва ASTM A532 маркаларнинг кимёвий таркиби

Т/р	Чўянларнинг маркаси	Элементларнинг кимёвий миқдори, % масса бўйича									
		C	Si	Cr	Mo	V	Mn	Ni	Ti	P	S
1.	ИЧ280Х29НЛ	2,82	0,6	28,23	-	0,02	0,46	1,5	-	0,062	0,030
2.	ИЧ300Х32Н2М2ТЛ	2,60	1,2	32,0	1,7	-	0,54	2,1	0,4	0,067	0,032
3.	ASTM A532	2,88	0,6	28,26	0,20	-	1,38	0,6	0,02	0,025	0,023

Тадқиқот объекти сифатида ўрганилаётган ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ ва ASTM A532 маркали оқ чўянларни кимёвий элемент таҳлили ва кимёвий элементларини юза бўйлаб тарқалиши ҳамда микроструктуравий таҳлиллар бажарилди. Оқ чўянларни механик хоссаларини аниқлаш учун махсус намуналар тайёрланди. Намуналарни егилишга мустаҳкамлик хоссасини аниқлаш мақсадида ГМС-50 русумли универсал синаш машинаси, зарбий қовушқоқлик хоссасини аниқлаш учун эса МК-30А русумли маятникдан ҳамда қаттиқликни аниқлаш мақсадида эса ТК-2М русумли қаттиқлик ўлчагичдан фойдаланилди (2-жадвал).

2-жадвал

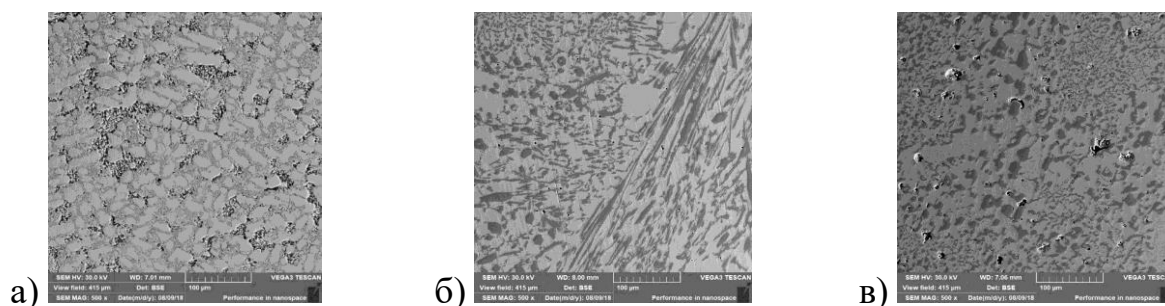
ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ ва ASTM A532 маркали оқ чўянларнинг механик хоссалари

Чўян маркаси	Зарбий қовушқоқлик, KCV , Дж/см ²		Эгилишга мустаҳкамлик чегараси, σ_b , МПа		Қаттиқлик, HRC _Э	
	Ўлчанган	ГОСТ бўйича	Ўлчанган	ГОСТ бўйича	Ўлчанган	ГОСТ бўйича

ИЧ280Х29НЛ	11,5	11	420	400	50	46
ИЧ300Х32Н2М2ТЛ	10,5	10	410	390	59	57
ASTM A532*	9		460		60	58

*Изоҳ-берилган қийматлар меъёрий ҳужжатлар асосида олинди.

Диссертациянинг «**Ейилишга бардошли оқ чўянлар таркибини кимёвий элементли тадқиқ қилиш**» деб номланган учинчи бобида ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ ва ASTM A532 маркали оқ чўянларни кимёвий элемент таҳлили ва кимёвий элементларини қотишма юзаси бўйлаб тарқалишини таҳлил қилинди. Оқ чўян маркаларининг структура металл асоси ва карбид турлари ўрганилган. Қотишма таркибидаги легирловчи элементларнинг структурага таъсири таҳлил қилинган. Намуналарнинг микроструктуралари 5000 марта катталаштирилган ҳолатда ўрганилган ҳамда тақосланган. Бунга кўра, ИЧ280Х29НЛ маркали чўян микроструктурасини ташкил этган металл асос ва карбид фазаларни кўриш мумкин. Қотишма структураси карбид фазаларида M_3C дан M_7C_3 гача бўлган карбидлар шаклланганлигини кўриш мумкин (1-Расм, а). ИЧ300Х32Н2М2ТЛ маркали қотишма структурасида M_3C дан $M_{23}C_6$ гача карбидларининг шаклланганлиги қотишманинг хоссаларини оширади, лекин бу карбидларнинг тартибсиз ва катта ўлчамдалиги ҳам қотишма хоссаларига салбий таъсир кўрсатади (1-Расм, б). ASTM A532 маркали чўян структурасида асосан M_7C_3 дан $M_{23}C_6$ гача карбидларининг шаклланганлиги кўришимиз мумкин (1-Расм, в).

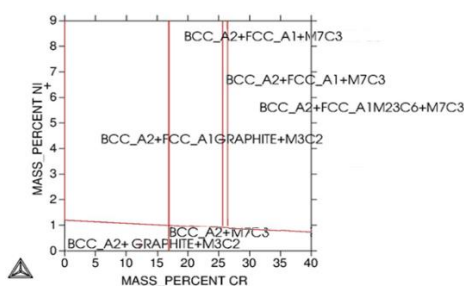


а) ИЧ280Х29НЛ, б) ИЧ300Х32Н2М2ТЛ, в) ASTM A532

1-расм. Ейилишга бардошли оқ чўянларнинг микроструктураси, х2000

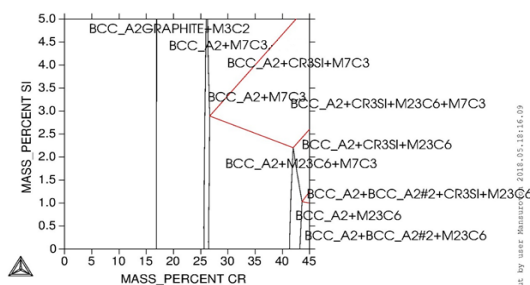
Диссертациянинг «**Ейилишга бардошли оқ чўянларнинг кимёвий таркибини Thermo-Calc дастури ёрдамида таҳлили**» деб номланган тўртинчи бобида Fe-C ҳолат диаграммасида углерод ва температура миқдорини ўзгариши ҳисобига ҳосил бўладиган фазалар ўрганилди. Fe-C системаси асосидаги икки, уч ва кўп компонентли термодинамик ҳолат диаграммалар куриш ва уларни таҳлил қилишда Thermo-Calc Software (Швеция) компаниясининг дастурий таъминоти ҳисобланган Thermo-Calc дастурининг 2018 йил май ойида янгиланган TCFe7 маълумотлар базасидан фойдаланилди. Тадқиқот объекти сифатида тадқиқ қилинаётган ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ ва ASTM A532 оқ чўянлар маркаларининг кимёвий таркиби асосида Thermo-Calc дастури ёрдамида уч, тўрт ва кўп компонентли

50дан ортиқ термодинамик ҳолат диаграммалари қурилди. ИЧ280Х29НЛ маркали оқ чўян асосида Fe-2,6C-Cr-Ni, Fe-2,6C-Cr-Mn, Fe-2,6C-Cr-Si, Fe-2,6C-Cr-Ti ва кўплаб системалардаги термодинамик ҳолат диаграммалар тадқиқ қилинди. Унга кўра қотишмадаги Cr, Ni, Mn, Si ва Ti элементларининг миқдори ўзгариши билан структурада шаклланаётган металл асос ва карбидларнинг турлари ўрганилди. Fe-2,6C-Cr-Ni ҳолат диаграммасидан кўришимиз мумкинки, қотишманинг механик ва эксплуатацион хоссалари учун муҳим бўлган перлитли ва аустенитли металл асос ҳамда M_7C_3 типидagi карбидлар қотишмадаги хромнинг миқдори 16,5% дан юқори бўлганда ва никельнинг миқдори 0,2-0,9% оралиғида шакллана бошланиши аниқланди. Хром ва никельнинг айнан шу миқдордан паст ҳолатда эса, структура бўйлаб парчаланишга улгурмаган графитларни ва M_3C_2 типидagi карбидларни ҳосил бўлишини кўриш мумкин. Хром ва никельнинг кўрсатилган миқдордан юқори бўлиши эса структурада $M_{23}C_6$ карбидини ҳосил бўлиши билан биргаликда қотишманинг таннархини ошишига олиб келиши аниқланди (2-расм).



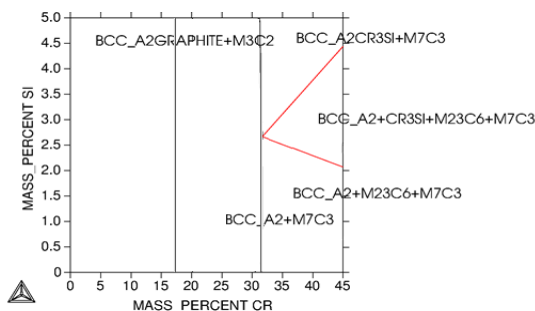
2-расм. Fe-2,6C-Cr-Ni ҳолат диаграммаси. T-200⁰C

Fe-2,6C-Cr-Mn ва Fe-2,6C-Cr-Si ҳолат диаграммаларини таҳлил қилиш жараёнида қотишма таркибида 16-26,5%гача хромнинг бўлиши қотишмада M_7C_3 типидagi карбидларни тўлиқ шаклланиши учун етарли эканлиги аниқланди. Қотишмада хромнинг миқдори 16%гача бўлганда структурада парчаланмаган графитлар ва M_3C_2 типидagi карбидлар учраши аниқланди. Fe-2,6C-Cr-Mn ва Fe-2,6C-Cr-Si ҳолат диаграммаларини тадқиқ қилиш жараёнида Mn ва Si нинг миқдори 0,4-0,6% оралиғида структурада ҳосил бўлган перлит ва аустенит қолаверса, M_7C_3 типидagi карбидлар тўлиқ шакланганлиги сабабли қотишманинг оқувчанлик ва зарбли-абразивли хоссаларига салбий таъсири мавжуд (3-расм).



3-Расм. Fe-2,6C-Cr-Si ҳолат диаграммаси. T-200⁰C

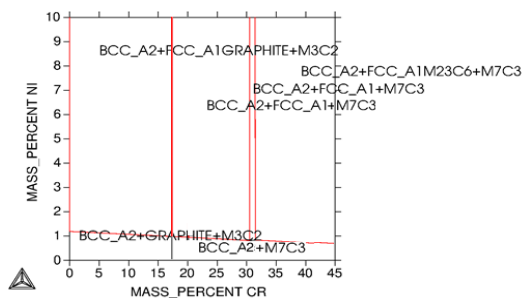
ИЧ300Х32Н2М2ТЛ маркали оқ чўян асосида Fe-3,1C-Cr-Ni, Fe-3,1C-Cr-Mn, Fe-3,1C-Cr-Si, Fe-3,1C-Cr-Ti ва кўплаб системаларидаги термодинамик ҳолат диаграммар тадқиқ қилинди. Унга кўра қотишмадаги Cr, Ni, Mn, Si ва Ti элементларининг миқдори ўзгариши билан структурада шаклланаётган карбидларнинг турлари ўрганилди (4-расм).



4-Расм. Fe-2,6C-Cr-Ti ҳолат диаграммаси. T-200⁰C

Fe-3,1C-Cr-Ni ҳолат диаграммасидан кўришимиз мумкинки, қотишманинг механик ва эксплуатацион хоссалари учун муҳим бўлган перлитли ва аустенитли металл асос ҳамда M₇C₃ типидagi карбидлар қотишмадаги хромнинг миқдори 16-17% дан юқори бўлганда ва никельнинг миқдори 0,2-0,7% оралиғида шакллана бошланиши аниқланди. Хром ва никельнинг айнан шу миқдордан паст ҳолатда эса, структура бўйлаб парчаланишга улгурмаган графитларни ва M₃C₂ типидagi карбидлар ҳосил бўлишини кўришимиз мумкин. Хром ва никельнинг кўрсатилган миқдордан юқори бўлиши эса структурада M₂₃C₆ карбидини ҳосил бўлиши билан биргаликда қотишманинг таннархини ошишига олиб келиши аниқланди.

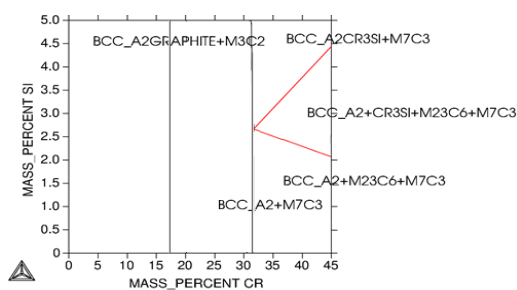
ИЧ280Х29НЛ маркали оқ чўяннинг кимёвий таркиби асосида Fe-2,6C-Cr-Mn системасининг термодинамик ҳолат диаграммаси келтирилган. Диаграммада қотишма металл асоси сифатида шаклланган феррит ва парчаланишга улгурмаган графитларни кўришимиз мумкин. Қотишма таркибида 45%гача хром ва 9%гача марганец бўлганда структура металл асосида тўлиқ шаклланган феррит ва M₃C₂ дан M₂₃C₆ гача карбидларини шакланганлигини кўришимиз мумкин. Айнан марганецнинг миқдори 9%дан ошганда қотишма структураси металл асосида парчаланишга улгурмаган графитлар учрайди (5-расм).



5-расм. Fe-3,1C-Cr-Ni ҳолат диаграммаси. T-200⁰C

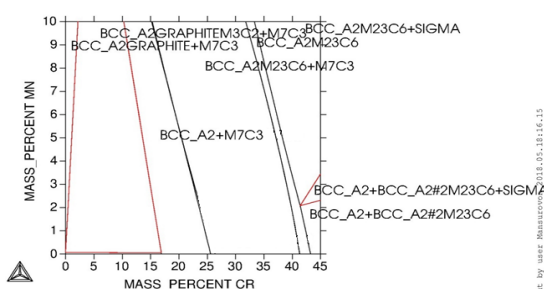
Марганецнинг миқдори 3-4%гача бўлганда эса тўлиқ шаклланган ферритли структурани кўришимиз мумкин. Айниқса, марганецнинг миқдори 0,7-0,8%гача ва хромнинг миқдори эса 16-45% гача бўлганда қотишма структураси металл асоси ферритли ва энг асосийси марганецнинг миқдори кам бўлишига қарамасдан M_7C_3 карбидлари шаклланган.

Fe-3,1C-Cr-Mn ва Fe-3,1C-Cr-Si ҳолат диаграммаларини таҳлил қилиш жараёнида қотишма таркибида 16-27%гача хромнинг бўлиши қотишмада M_7C_3 типдаги карбидларни тўлиқ шаклланиши учун етарли эканлиги аниқланди. Қотишмада хромнинг миқдори 16%гача бўлганда структурада парчаланмаган графитлар ва M_3C_2 типдаги карбидлар учраши аниқланди (6-расм).



6-Расм. Fe-3,1C-Cr-Si ҳолат диаграммаси. T-200°C

Хромнинг миқдори 26,5%дан ошиши билан эса структурада $M_{23}C_6$ карбиди шакллана бошланиши аниқланди. Fe-3,1C-Cr-Mn ва Fe-3,1C-Cr-Si ҳолат диаграммаларини тадқиқ қилиш жараёнида Mn ва Si нинг миқдори 0,4-0,6% оралиғида структурада ҳосил бўлган перлит ва аустенит қолаверса M_7C_3 типдаги карбид тўлиқ шаклланганлиги сабабли қотишманинг оқувчанлик ва зарбли-абразивли хоссалари сезиларли ошганлиги аниқланди (7-расм).



7-расм. Fe-2,6C-Cr-Mn ҳолат диаграммаси. T-200°C

Диссертациясининг «**Ейилишга бардошли оқ чўянлар кимёвий таркиби, структураси ва қуймалар олиш технологияларини оптималлаштириш**» деб номланган бешинчи бобида Thermo-Calc дастури ёрдамида 50дан ортиқ уч, тўрт ва кўп компонентли системаларнинг термодинамик ҳолат диаграммалари таҳлили ва хулосаси қотишма таркибидаги углерод ва хромнинг ўзаро оптимал муносаббалигини сақлаган ҳолда қолаверса қотишма таркибидаги карбидларни шакллантириш мақсадида молибденнинг ҳам оптимал миқдори танланди. Янги тежамкор оқ чўянни таркибини қуйидаги таркибда (3-жадвал) тавсия этилди:

3-жадвал

ИЧ330Х17Л маркали тежамкор оқ чўян

Кимёвий таркиби, % масса бўйича								
C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	S	P	Fe
3,2-3,4	16-18	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,5	≤0,06	≤0,1	қолгани

ИЧ330Х17Л маркали тежамкор оқ чўянни механик хоссаларини аниқлаш ва ўзаро таққослаш мақсадида кимёвий таркибининг оралиқ миқдорларидан келиб чиққан ҳолда намуналарнинг кимёвий таркиби аниқланди (4-жадвал).

4-жадвал

Тавсия этилаётган оқ чўянларнинг тежамкор маркасининг таркиби турли қийматлари билан мисоллар 3-жадвалда келтирилган

Таркиби, % масса улушида	C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	S	P	Fe
1-намуна	3,1	15	0,3	0,3	0,3	0,35	0,06	0,1	80,49
2-намуна	3,2	16	0,4	0,4	0,4	0,40	0,06	0,1	79,04
3-намуна	3,3	17	0,5	0,5	0,5	0,45	0,06	0,1	77,59
4-намуна	3,4	18	0,6	0,6	0,6	0,50	0,06	0,1	76,14
5-намуна	3,5	18	0,7	0,7	0,7	0,55	0,06	0,1	75,69

3-жадвалдаги оқ чўянларнинг тежамкор маркасининг кимёвий таркибидан келиб чиққан ҳолда қотишманинг механик хоссалари НКМК Навоий машинасозлик заводининг марказий лабораториясида аниқланди (5-жадвал).

5-жадвал

Оқ чўянлар тежамкор маркасининг оралиқ кимёвий таркибининг механик хоссалари

Чўян маркаси	Зарбий қовушқоқлик, KCV, Дж/см ²		Эгилишга муштақамлик чегараси, σ _b , МПа		Қаттиқлик, HRC _Э	
	Ўлчанган	Техник шарт бўйича	Ўлчанган	Техник шарт бўйича	Ўлчанган	Техник шарт бўйича
1-намуна	5,8-6,3	11	310-320	400	40-42	58
2-намуна	9,6-10,8		400-410		53-55	
3-намуна	10,0-11,0		411-422		58-63	
4-намуна	9,8-11,1		405-418		57-60	
5-намуна	9,5-10,1		409-415		55-57	

Ейилишга бардошли оқ чўянларнинг таклиф қилинган тежамкор таркиби (2-4-мисоллар) абразивли ва зарбли-абразивли муҳитларда ишлайдиган деталлар ва уларнинг қисмларининг керакли механик хусусиятларини таъминлай олади. Чунки, анъанавий равишда абразивли ва зарбли-абразивли

мухитларда қўлланилиб келинаётган ИЧ280Х29НЛ маркали оқ чўян маркаси билан таклиф этилаётган ИЧ330Х17Л маркали тежамкор оқ чўянни механик хоссалари ўзаро таққослаган (6-жадвал).

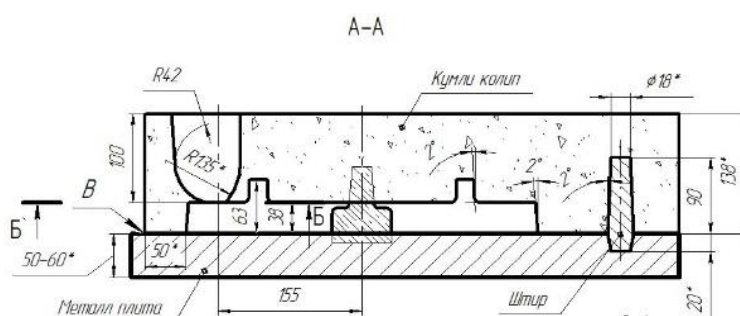
6-жадвал

Оқ чўянларнинг механик хоссалари

Чўян маркаси	ИЧ280Х29НЛ	ИЧ330Х17Л
Термик ишловларсиз қаттиқлик, HRC _Э	42-43	49-50
Термик ишлов берилган ҳолатдаги қаттиқлик, HRC _Э	52-53	58-63
Термик ишловсиз зарбий қовушқоқлик, KCV, Дж/см ²	10-11	10,2-11,5
Термик ишлов берилган ҳолатдаги зарбий қовушқоқлик, KCV, Дж/см ²	8,5-9,5	8,8-9,8
Термик ишловларсиз мустаҳкамлик чегараси, σ _в , МПа	390-398	403-407
Термик ишлов берилган ҳолатдаги мустаҳкамлик чегараси, σ _в , МПа	415-420	427-431

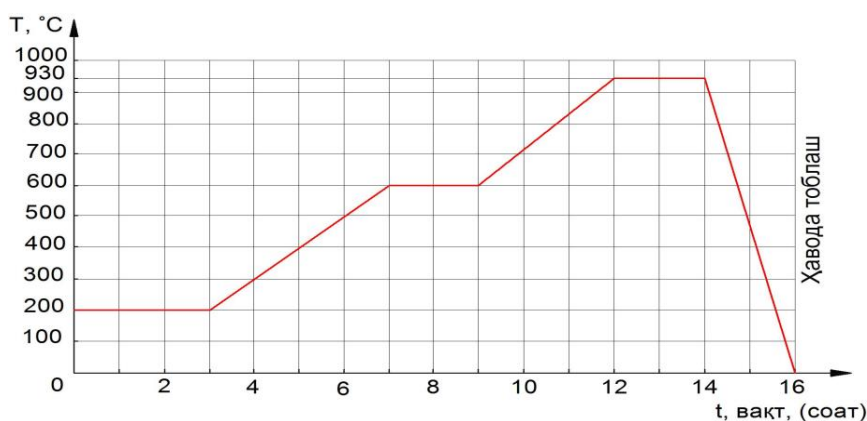
НКМК Навоий машинасозлик заводида KEV-96 модели роторли майдалагични муҳим деталларидан бири бўлган «таъминловчи диск» детали бугунги кунда ИЧ280Х29НЛ маркали оқ чўядан қумли қолипларда тайёрланиб келинмоқда.

Оқ чўянларни қуйиш технологиясини оптималлаштириш ҳамда легирловчи элементларни тежаш мақсадида янги таклиф этилаётган ИЧ330Х17Л маркали оқ чўядан ҳам айнан «таъминловчи диск» детали қумли қолипларда ташқи қуйма совуткичлар ёрдамида қуйиб олинди (8-расм).



8-расм. Таъминловчи диск деталини ташқи қуйма совуткичлар ёрдамида қумли қолипда олиш

ИЧ330Х17Л маркали оқ чўядан ташқи қуйма совуткичлар ёрдамида олинган «таъминловчи дисклар»нинг ҳар бири алоҳида Н-85 модели электр печда термик ишлов беришнинг турли хил меъёрларида ишлов берилди. Термик ишлов берилган деталларнинг механик ва эксплуатацион хоссаларини таҳлил қилиш мақсадида термик ишлов беришнинг энг оптимал меъёри танланди (9-расм).



9-расм. Оқ чўянлар учун термик ишлов беришнинг энг оптимал меъёри

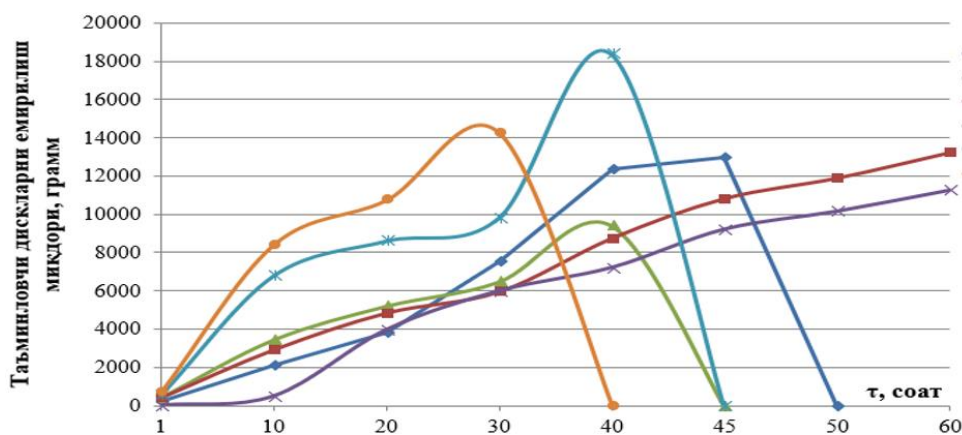
Деталларни термик ишлов бериш жараёнида қотишмани таркибидаги аустенит фазаларини парчалаш учун 920-960⁰С температура етарли эканлиги аниқланди. Тоблаш температурасининг ушбу температурадан юқори юқори бўлиши, деталларни ҳавода совутиш жараёнида детал структурасида майда ёриқлар ҳосил бўлишига олиб келди.

Таъминловчи диск деталларининг барчаси ишлаб чиқариш миқёсида НКМК Марказий кон-бошқармаси олтинни уйимда ишқорлаш цехининг тўртинчи босқич KEV 96 русумли СЕМСО майдалагичларида тажриба-синовдан ўтказилди. Тажриба-синов вақтида ИЧ330Х17Л (1-4-дисклар) ва ИЧ280Х29НЛ (5 ва 6 дисклар) маркали оқ чўядан тайёрланган бир нечта деталлар тартиб бўйича рақамланди ҳамда деталларнинг абразивли ва зарбли-абразивли хоссасини аниқлаш мақсадида уларнинг оғирлиги ўлчаниб борилди (10-расм).



10-расм. Таъминловчи дискларнинг эксплуатация вақтидаги ҳолати

Тажриба-синов натижасини ифодалаш учун таъминловчи дискларни ишлаш вақтини солиштириш мақсадида, қолаверса, саот бирлигида ейилиш коэффсентини аниқлаш учун куйидаги график тузилди (11-расм).



11-расм. Таъминловчи дискларни эксплуатация вақтида ейилиш графиги

Таклиф этилган ейилишга бардошли оқ чўяларнинг тежамкор ИЧ330Х17Л маркасидан тайёрланган таъминловчи дискларнинг таннархи арзон бўлишига қарамасдан, оқ чўяларнинг анъанавий ИЧ280Х29НЛ маркасидан тайёрланган таъминловчи диск деталларига нисбатан 22-28 соат кўп вақт ишлаши ишлаб чиқариш миқёсида тажриба-синов натижасида аниқланди. Бунга асосий сабаб қуйиш ва термик ишлов бериш жараёнида замонавий оптимал усулларидаан фойдаланган ҳолда тайёрланганлиги ҳисобланади. Таъминловчи диск деталларининг эксплуатациядан кейинги ҳолатини қуйидаги расмда кўришимиз мумкин (12-расм).



1-4 - ИЧ330Х17Л ва 5-6 - ИЧ280Х29НЛ маркали оқ чўялардан тайёрланган.

12-расм. Эксплуатациядан кейинги таъминловчи дисклар

Диссертация илмий тадқиқот натижалари 2018-2020-йилларда НКМК Навоий машинасозлик заводида ва Марказий кон бошқармаси олтинни уйимда ишқорлаш цехининг тўртинчи босқич KEV-96 русумли СЕМСО майдалагичларида тажриба синовдан ўтказилди.

ХУЛОСА

1. Оқ чўялар асоси бўлган Fe – С ҳолат диаграммасининг назарияси легирловчи элементлар (хром 45% гача), никель 10% гача, марганец 10% гача, углерод 4% гача, кремний 5% гача, титан 10% гача, молибден 5% гача, ванадия

6% гача) ёрдамида фазавий ўзгаришлар, жумладан, қаттиқ эритма, карбидлар кимёвий таркиби аниқланиб, ушбу олинган натижалар билан бойитилган.

2. Уч-, тўрт- ва кўпкомпонентли (Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr-Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn) ҳолат диаграммалари, изо- (200°C), политермик кесимлар тадқиқ қилиш асосида оқ чўяндаги фазавий мувозанат ва ўзгаришларга аниқлик киритилган. Жумладан, хром 16 дан 34% гача, никель 0,4 дан 3% гача, марганец 0,4 дан 2% гача, углерод 2,4 дан 4% гача, кремний 0,3 дан 2% гача, титан 0,4 дан 5% гача, молибден 0,2 дан 3% гача, ванадий 0,01 дан 2% гача нисбий миқдорлари оралиқда ҳосил бўлган фазалар аниқланган.

3. Қотишмада темир асосидаги қаттиқ эритманинг миқдори 61-64%, карбид фазаларнинг 36-39% мавжудлиги, кўпкомпонентли системаларда TiC, Cr₃Si аниқланган, кремний ўз ичига олган фазани, шу билан кристалланиш доирасини кенгайтириши, қотишманинг қуйиш хусусиятларини ошириши исботланди. Титан карбиди қотишмаларни қаттиқлигини ошириши, структура донадорлигини майдалаштиришига ёрдам берган.

4. Юқори легирланган чўяндарда карбид туралари аниқланди. Қотишмада легирловчи элементлар миқдори ошгани сайин, қотишмаларда қуйидаги карбидлар шклланиши мумкинлиги аниқланган: M₃C, M₆C, M₅C₂, M₇C₃, M₂₃C₆. Мураккаб легирланган карбидларининг йўналтирилган кристалланиш ижобий таъсирига эришилган.

5. Ишлаб чиқариш жараёнида, оқ чўян кимёвий таркиби соддалаштирилганлиги натижасида ҳар бир ишлаб чиқарилган 1 тонна қотишмада легирловчи элементлар, жумладан, феррохром 40% га, никель 45%, бошқа кимёвий элементларнинг барчаси ўрта ҳисобда 10 – 20% га иқтисод қилинган. Таъминловчи диск деталини тайёрлашда қуйиш жараёнларини ва термик ишлов беришнинг оптимал меъёрларидан фойдаланиш натижасида деталларнинг ишлаш вақти камида 20% га оширилиб, деталларнинг таннархи эса, 30% гача арзонлаштирилган.

6. Олиб борилган изланишлар натижасида янги қотишма яратилиб, унинг таркиби қуйидагилардан иборат: углерод 2,6-2,9%, марганец 0,4-0,8%, хром 27-30%, кремний 0,5-0,6%, никель 0,5 дан 1,5% гача, ванадий 0,01-0,02% гача ва қолгани темир.

7. Ейилишга бардошли оқ чўянларнинг қуйидаги таркибдаги иккинчи тежамкор маркаси яратилди: углерод 3,2-3,4%, марганец 0,4-0,6%, хром 16-18%, кремний 0,4-0,6%, никель 0,4-0,6%, молибден 0,4-0,5% гача ва қолгани темир. Тайёрланган деталларни қуйиш технологияси, термик ишлов беришнинг оптимал параметрлари (940±10°C) яратилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

НАВОИЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК

ЖУМАЕВ АХМАДЖОН АБДУВОХИДОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ БЕЛЫХ
ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

**05.02.01 - Материаловедение в машиностроении. Литейное производство. Термическая
обработка металлов давлением. Металлургия черных, цветных и редких металлов.
Технология редких, ценных и радиоактивных элементов**

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

Тошкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2020.2.PhD/T1586

Диссертация выполнена в Навоийское отделение Академии Наук РУз.

Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного совета (www.tstu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Мансуров Юлбарсхон Набиевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Нурмуродов Салохиддин Дусмуродович**
доктор технических наук, профессор

Атажанов Гапур Латибович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Андижанский машиностроительный институт**

Защита диссертации состоится «28» август 2021 г. в 11:00 часов на заседании разового Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 Ташкентского государственного технического университета. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована №-217). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32.

Автореферат диссертации разослан «16» августа 2021 года.

(реестр протокола рассылки №-125 от «16» августа 2021 года).

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

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

Н.Д.Тураходжаев
Председатель научно семинара при
научном совете по присуждению ученых
степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Сегодня одной из важнейших мировых задач является повышение экономической эффективности деталей, полученных литьем из белых чугунов за счет увеличения их эксплуатационных и механических свойств. Одной из важных задач является проведение научных исследований в этой области, в том числе в таких направлениях, как: разработка состава сплава с использованием современного программного обеспечения с учетом условий работы износостойкого белого чугуна; оптимизация процессов литья белого чугуна; необходимости разработки новых оптимальных методов термической обработки.

На металлургических предприятиях развитых стран мировой черной металлургии проводится ряд научно-исследовательских работ по получению качественных отливок из износостойких белых чугунов, в частности, износостойких хромистых чугунов. США, Россия, Германия, Великобритания, Канада, Бразилия, Япония, Австралия, Украина, Польша, Индия, Китай, Беларусь, Иран, Мексика и другие страны являются ведущими производителями белых чугунов, выпуская 60-70 % деталей от общемирового количества. В связи с ежегодным увеличением производства белого чугуна, увеличением спроса на качество деталей из износостойкого белого чугуна, было важно создать и внедрить технологию получения литых деталей из качественного белого чугуна с более низкой себестоимостью за счет ресурсосбережения.

После обретения независимости в Республике предпринимаются комплексные меры по развитию металлургической и горнодобывающей промышленности, а также производства импортозамещающих деталей из износостойкого чугунов.

Данное диссертационное исследование направлено на реализацию задач, поставленных Президентом Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», других директивных документов Кабинета Министров РУз по данной отрасли экономики.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике. Предлагаемые результаты исследования являются частью Республиканского проекта развития науки и технологий. II. Реализуется в соответствии с приоритетным направлением «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Ведущие ученые мира, в том числе американские исследователи С. Р. Табретт, Л. Ариас, определили влияние фазового перехода на свойства коррозионно-стойкого белого чугуна при термической обработке, японский ученый Ю. Мацубара изучил влияние термической обработки на белого чугунов металлическая основа и карбидные фазы, Польские исследователи Е.В.Позенберг, Д. Копусинский разработал тех-

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. № ПФ-4947 «О Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан». // Народное выступление, 8 февраля 2017 г.

нологию улучшения механических и эксплуатационных свойств сплавов с помощью термической обработки.

Исследователи из стран СНГ, в частности российские ученые Г.И. Сильман, И.И. Ципин, А.А. Жуков, М.М. Ямшинский, К.С. Радченко в сочетании с термообработкой коррозионно-стойкого белого чугуна создал фундаментальные закономерности изменения микроструктурных фаз сплава при литье его в металлические формы, Белорусские ученые К.Э. Барановский, В.М. Ильщенко, Узбекские исследователи А.А. Мухамедов, Дж.Дж. Маматкулов и другие разработали нетрадиционные методы термической обработки для улучшения свойств износостойкого белого чугуна.

В результате использования внешних холодильников охладителей при отливке износостойкого белого чугуна, размещения карбидных фаз перпендикулярно поверхности изнашивания в структуре сплава, применения оптимальных методов термической обработки для металлической основы и карбидов.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Работа выполнена в рамках фундаментального проекта Навоийского филиала Академии наук и Навоийского государственного горного института Ф2-010-«Разработка научных основ термоциклической обработки деталей горного оборудования» (2017-2020 гг.).

Цель исследования. На основе выявленных закономерностей взаимосвязи химического и фазового состава модельных сплавов, установление фазового состава высоколегированных белых износостойких чугунов для локализации производства импортируемых деталей, используемых в абразивных и ударно-абразивных средах в конструкциях горнодобывающих машин, доведение структуры и свойств белого чугуна до уровня отраслевых требований, а также экономия легирующих компонентов за счет их оптимизации.

Задачи исследования:

- определены области существования фаз, фазовые равновесия, наличие видов карбидных фаз в многокомпонентных легированных белых чугунах, проведена оптимизация их химического состава без снижения уровня эксплуатационных свойств;

- установлены области существования фаз, фазовые равновесия в трех-, четырех- и многокомпонентных модельных сплавах;

- установлены зависимости структуры и свойств высоколегированных белых чугунов от параметров технологий литья и термической обработки;

- улучшить механические и эксплуатационные свойства за счет упрощения химического состава применяемых на практике коррозионно-стойких белых чугунов путем анализа химического состава, структуры и свойств модельных сплавов.

Объект исследования. Образцы сплавов: ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ, а также зарубежные сплавы-аналоги ASTM A532 (класс 2).

Предмет исследования. Закономерности изменения структуры и эксплуатационных свойств в зависимости от состава износостойкого белого чугуна, конструкции деталей из белого чугуна, технологии изготовления деталей и свойства износостойкого термообработанного белого чугуна.

Методы исследования. В исследовании использовался сертифицированный химический метод и спектральный рентгеновский анализатор, ионный хроматограф Metrohm 850 Professional IC (SEM-EDX) Carl Zeiss EVO MA 10 / AztecEnergy Electronic Analyzer Advanced X-Scan.

Научная новизна исследования: заключается в следующем:

- Теория диаграммы состояния Fe - C, лежащая в основе белого чугуна, содержит легирующие элементы (хром до 45%), никель до 10%, марганец до 10%, углерод до 4%, кремний до 5%, титана до 10%, молибдена до 5%, ванадия до 6%) с использованием фазовых переходов, включая твердый раствор, был определен и обогащен этими результатами химический состав карбидов;

- построены диаграммы состояния трёх-, четырёх- и многокомпонентных систем типа Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr -Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn, их изо (при температуре 200°C)- и политермические сечения, позволившие обогатить теорию диаграмм состояния - основы чугунов в области концентраций хрома (от 16 до 34%), никеля (от 0,4 до 3%), марганца (от 0,4 до 2%), углерода (от 2,4 до 4%), кремния (от 0,3 до 2%), титана (от 0,4 до 5%), молибдена (от 0,2 до 3%), ванадия (от 0,01 до 2%). Определены точки изменения составов фазовых равновесий, включая легированный твердый раствор на основе железа, многокомпонентные карбиды, смесь фаз на основе твердого раствора железа и карбидов.

- определены относительное весовое количество твердого раствора на основе железа на уровне 61-64%, карбидных фаз на уровне 36-39%. Установлено наличие новых фаз типа TiC, Cr₃Si в многокомпонентных системах, отвечающих, в том числе, как, например, фаза, содержащая кремний, расширению интервала кристаллизации, соответственно, повышению литейных свойств сплавов. Карбид титана повышает дополнительно твердость сплавов, являясь центром кристаллизации, способствует измельчению зеренной структуры;

- установлены типы карбидов в высоколегированных белых чугунах. Выявлено, что по мере увеличения количества легирующих элементов, в сплавах могут образоваться соединения со следующим стехиометрическим соотношением компонентов: M₃C, M₆C, M₅C₂, M₇C₃, M₂₃C₆. Впервые получен эффект направленной кристаллизации сложнолегированных карбидов;

- установлены граничные условия по содержанию углерода в белых экономнолегированных износостойких чугунах, а также легирующих элементов. Границы составляют 2,6-2,9% по углероду, хрому 26-29%, никелю 0,5-1,5%, марганцу 0,4-0,8%, ванадию 0,01%)-0,02%, кремния до 1,5%.;

- для производства износостойких деталей из нового белого чугуна установлены параметры нагрева жидкого расплава 1390±10°C, скорость

охлаждения $202 \pm 3^{\circ}\text{C}/\text{ч}$; параметры термообработки: нормализация от $940 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 3 часа, низкий отпуск при температуре $230 \pm 10^{\circ}\text{C}$, 2,5 часа.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

- с помощью программы Thermo-Calc построены диаграммы состояния трех-, четырех- и многокомпонентных сплавов - основы белых чугунов и внесены дополнения в разделы науки «Металловедения», а также обеспечено их практическое использование;

- в процессе литья с использованием монокристаллических охладителей была ориентирована структура износостойкой части промышленных деталей, а эксплуатационные свойства деталей доведены до необходимого уровня, то есть: карбиды типа от M_3C до M_{23}C_6 , образующиеся в структуре рабочей поверхности детали, размещены перпендикулярно рабочей поверхности;

- на основе исследования и микроструктурного анализа механических свойств износостойкого белого чугуна улучшены свойства деталей из них, в том числе механические и эксплуатационные свойства, повышены не менее чем на 20% при снижении их себестоимости не менее чем на 30%;

- применены оптимальные параметры термообработки деталей из формованного сплава белого износостойкого чугуна.

Достоверность результатов исследования обусловлена различными методами исследований: методами металлографии и рентгеноструктурного анализа, элементным анализом, выполненными на современном оборудовании, измерениями значений макротвердости и микротвердости, измерениями температур при термообработке, сопоставлении результатов испытаний на износостойкость, сравнению экспериментальных результатов с имеющимися данными, полученными в промышленных условиях, и рекомендации по внедрению результатов исследований в производство с реальной экономической выгодой.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Впервые в Узбекистане использована программа Thermo-Calc, в результате чего был рекомендован экономичный состав белого чугуна. Новая марка экономичного белого чугуна позволила использовать технологию изготовления деталей в песчаных формах с использованием литых внешних холодильников, что улучшило структуру белого чугуна, разработана оптимальная термообработка деталей, что привело к резкому повышению механических и эксплуатационных свойств.

Практическая значимость результатов исследований заключается в снижении стоимости рабочих деталей для использования в условиях абразивного износа и увеличения срока их службы не за счет дополнительного легирования или модифицирования износостойкого белого чугуна, а за счет оптимизации процесса литья и термообработки.

Внедрение результатов исследования. По результатам, полученным по методам литья износостойкого белого чугуна:

- на основе разработанных технологий литья из износостойкого белого чугуна были изготовлены детали «питающий диск» из предложенной марки белого чугуна в песчаных формах с использованием внешних металлических холо-

дильников и полученные отливки проводина оптимальную термообработку. Деталь «питающий диск» внедрена на Навоийском машиностроительном заводе Навоийского горно-металлургического комбината (справка АО НГМК № 02-06-04/6177 от 1 июня 2021 г. и № 02-06-07/2390 от 24 февраля 2020 г.). В результате за счет упрощения химического состава белого чугуна легирующие элементы, в том числе феррохром, на 40%, никель на 45%, а все другие химические элементы в среднем на 10-20% были сэкономлены на 1 тонну;

- в результате предложенного химического состава белого чугуна, изменения технологии литья и оптимизации технологии термообработки ударная вязкость отливок увеличилась в 1,2-1,5 раза, твердость - в 1,2-1,5 раза;

- ниской использование легирующих элементов для сплавов, улучшение механических свойств деталей, а также увеличение срока службы горного оборудования на 20% и снижение стоимости отливок на 30%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертации обсуждались на 13, в том числе 7 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 27 научных работ, из них 8 научных статей, в числе которых 5 статей в республиканских и 3 статьи (2 в журнале базы Scopus) в зарубежных журналах, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертации (PhD) и запатентовано 1 полезная модель номер UZ FAP 01572.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении показана актуальность и необходимость темы диссертации, на их основе сформулированы цели и задачи исследования, объект исследования, описана тематика диссертации, обозначена её актуальность, соответствующая приоритетам науки и техники Республики, изложена научная новизна и практические результаты исследований, раскрыты научно-теоретическая и практическая значимость полученных результатов, результаты исследования внедрены в практику, указано количество опубликованных научных работ приведена структура диссертации.

Первая глава диссертации «**Общие сведения об износостойких белых чугунах**». В первой главе анализируется литература по данной теме, изучаются состав и свойства белых чугунов для деталей, используемых для работы в средах абразивного и ударно-абразивного износа. Помимо металлической матрицы изучено влияние карбидных фаз на свойства белого чугуна. Проанализировано влияние легирующих элементов на механические и эксплуатационные свойства белого чугуна. Изучено образование карбидных фаз в структуре сплава в зависимости от количества легирующих элементов. Описаны структурные изменения, происходящие в структуре сплава под

влиянием термической обработки белого чугуна.

В результате исследования и анализа износостойкие детали, важных для строительной, металлургической и горнодобывающей промышленности республики, были сделаны следующие выводы:

На ряде предприятий Республики Узбекистан детали из износостойких чугунов изготавливаются в песчаных формах с использованием относительно старых стандартов термической обработки. Это предотвращает использование износостойкого белого чугуна в полной мере;

Дорогие легирующие элементы (Mn, Cr, Ni, Mo, Ti) используются для улучшения свойств износостойких чугунов, что приводит к удорожанию деталей из них;

Структура и свойства отливок из износостойкого чугуна формируются в процессе кристаллизации сплава. Из-за медленного охлаждения сплава резко снижаются механические и эксплуатационные свойства сплава в результате образования большого количества остаточного аустенита и крупных карбидов большого количества карбидов формы в структуре.

Для решения этих проблем необходимо решить следующие задачи:

Широко применяемые чугуны ИЧ280Х29НЛ и ИЧ300Х32Н2М2ТЛ не содержат элементов из вольфрама и титана, минимизируют количество молибдена, никеля и хрома, но обеспечивают механические и эксплуатационные свойства сплава за счет применения оптимальных норм литья и термообработки;

Необходимо разработать экономичный состав износостойкого чугуна путем анализа двух-, трех- и многокомпонентных диаграмм состояния с помощью программы Thermo-Calc;

Износостойких белий чугунов можно улучшить не только добавлением в сплав дополнительных легирующих элементов, но и применением технологии и параметров процесса литья сплава, а также оптимальных норм термической обработки.

Во второй главе диссертации «**Материалы и методы исследования**», приведены химический состав образцов белых чугунов ИЧ280Х29НЛ и ИЧ300Х32Н2М2ТЛ, используемых для дробления руд в НГМК. В качестве объекта исследования были выбраны образцы, изготовленных в песчаных формах, а также образцы, вырезанные из импортных деталей из белого чугуна ASTM A 532. Химический состав образцов, использованных в материалах исследования, анализировался на спектральном оборудовании модели Spectro-Lab-M в центральной лаборатории НГМК ПО НМЗ (таблица 1). Образцы износостойкого белого чугуна прошли термообработку в лабораторной муфельной печи модели СНОЛ 3/11 и в промышленной электропечи модели Н-85. Микроструктурные исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA с увеличением от 500 до 5000 раз в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» (НИТУ «МИСиС», Россия) и оптическом микроскопе OLYMPUS BX53 в центральной исследовательской лаборатории НГМК с увеличением от 200 до 1000 раз.

Таблица 1

Химический состав чугунов марок ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ и ASTM А 532

№	Марки чугунов	Химические количества элементов, % по массе									
		C	Si	Cr	Mo	V	Mn	Ni	Ti	P	S
1.	ИЧ280Х29НЛ	2,82	0,6	28,23	-	0,02	0,46	1,5	-	0,062	0,03
2.	ИЧ300Х32Н2М2ТЛ	2,60	1,2	32,0	1,7	-	0,54	2,1	0,4	0,067	0,03
3.	ASTM А532*	2,88	0,6	28,26	0,2	-	1,38	0,6	0,02	0,025	0,02

*Интерпретированные значения получены на основании нормативных документов.

В качестве объекта исследования были выполнены химический элементный анализ, распределение поверхности и микроструктурный анализ белых чугунов ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ и ASTM А532. Были изготовлены специальные образцы для определения механических свойств белого чугуна. Для определения прочности образцов на изгиб использовали универсальную испытательную машину ГМС-50, для определения ударной вязкости - маятник МК-30А, для определения жесткости - прибор для определения жесткости ТК-2М (таблица 2).

Таблица 2

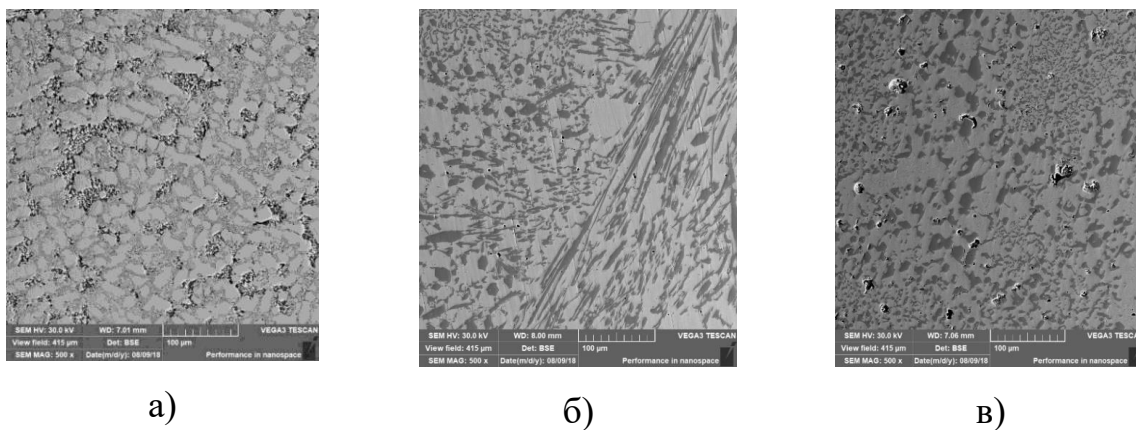
Механические свойства белых чугунов ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ и ASTM А 532

Марки чугунов	Ударный вязкость, KCV , Дж/см ²		Предел прочности на изгиб, σ_b , МПа		Твердость, HRC _Э	
	Измеренный	По ГОСТ	Измеренный	По ГОСТ	Измеренный	По ГОСТ
ИЧ280Х29НЛ	10,9-11,2	11,1	398	405	43-44	46
ИЧ300Х32Н2М2ТЛ	9,7-9,8	9,8	432	441	56-57	55
ASTM А532*	8,5		460		58-60	57

*Интерпретированные значения получены на основании нормативных документов.

В третьей главе диссертационной работы «Исследование химических элементов состава коррозионно-стойкого белого чугуна», анализируется химический элементный анализ белого чугуна ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ и ASTM А532, а также распределение химических элементов по поверхности сплава. Изучены конструкционная металлическая основа и типы карбидов марок белого чугуна. Проанализировано влияние легирующих элементов на структуру сплава. Микроструктуры образцов изучались и сравнивались при 5000-кратном увеличении. Соответственно, можно увидеть металлическую основу и карбидные фазы, составляющие микроструктуру чугуна марки ИЧ280Х29НЛ. Видно, что карбиды от M_3C до M_7C_3 образуются в карбидных фазах структуры сплава (рис. 1, а). Образование карбидов от M_3C до $M_{23}C_6$ в структуре сплава марки ИЧ300Х32Н2М2ТЛ увеличивает свойства

сплава, но неоднородность и большой размер этих карбидов также отрицательно сказываются на свойствах сплава (рис. 1, б). В структуре чугуна марки ASTM A532 мы видим, что в основном образуются карбиды от M_7C_3 до $M_{23}C_6$ (рис. 1, в).



а) ИЧ280Х29НЛ, б) ИЧ300Х32Н2М2ТЛ, в) ASTM A532
Рисунок 1. Микроструктуры износостойких чугунов, х500

В четвертой главе диссертации «Анализ химического состава износостойких белых чугунов с помощью программы Thermo-Calc» приведен анализ фаз по многокомпонентным диаграммам состояния на основе Fe-C. База данных TCFE7 программного обеспечения Thermo-Calc, обновленная в мае 2018 года, являющаяся программным обеспечением компании Thermo-Calc Software (Швеция), использовалась при построении и анализе двух-, трех- и многокомпонентных диаграмм термодинамического состояния на основе системы Fe-C. На основе химического состава белых чугунов марок ИЧ280Х29НЛ, ИЧ300Х32Н2М2ТЛ и ASTM A532, изучаемых в качестве объекта исследования, с помощью программы Thermo-Calc построено более 50 диаграмм термодинамического состояния с тремя, четырьмя и многими компонентами. Диаграммы термодинамического состояния в Fe-2,6C-Cr-Ni, Fe-2,6C-Cr-Mn, Fe-2,6C-Cr-Si, Fe-2,6C-Cr-Ti и многих системах на основе белого ИЧ280Х29НЛ чугун учился. По его словам, были изучены типы металлических основ и карбидов, образующихся в структуре при изменении количества элементов Cr, Ni, Mn, Si и Ti в сплаве. Из диаграммы состояния Fe-2,6C-Cr-Ni видно, что перлит и аустенит на основе металла и карбиды типа M_7C_3 , которые важны для механических и эксплуатационных свойств сплава, когда содержание хрома в сплаве выше, чем 16,5%, а содержание никеля составляет 0,2-0,9%. Было обнаружено, что начало образования находится в диапазоне. Ниже этого количества хрома и никеля можно увидеть, что образуются графит и карбиды типа M_3C_2 , которые еще не разложились по всей структуре. Было обнаружено, что превышение указанного количества хрома и никеля вместе с образованием карбида $M_{23}C_6$ в структуре приводит к удорожанию сплава (рис. 2).

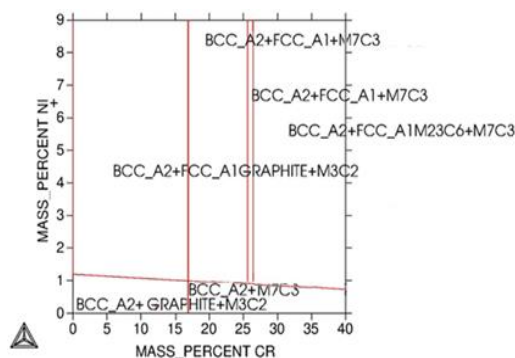


Рисунок 2. Диаграмма состояния Fe-2,6C-Cr-Ni. T-200⁰C

При анализе диаграмм состояния Fe-2,6C-Cr-Mn и Fe-2,6C-Cr-Si было установлено, что наличие в сплаве 16-16,5-26,5% хрома достаточно для полного формирования карбидов типа M_7C_3 в сплаве. При содержании хрома в сплаве до 16% в структуре обнаруживалось присутствие непереваженного графита и карбидов типа M_3C_2 . В процессе изучения диаграмм состояния Fe-2,6C-Cr-Mn и Fe-2,6C-Cr-Si при содержании Mn и Si в пределах 0,4-0,6% остается перлит и аустенит, образующиеся в Структура карбидов типа M_7C_3 полностью отрицательно сказывается на пластичности и ударно-абразивных свойствах сплава из-за его образования (рис. 3).

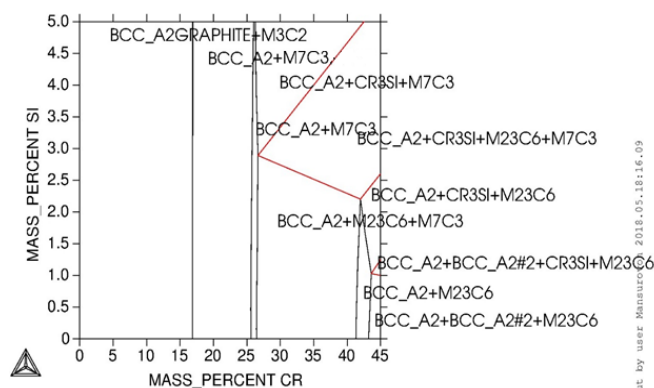


Рисунок 3. Диаграмма состояния Fe-2,6C-Cr-Si . T-200⁰C

Диаграмма термодинамического состояния в Fe-3,1C-Cr-Ni, Fe-3,1C-Cr-Mn, Fe-3,1C-Cr-Si, Fe-3,1C-Cr-Ti и многих системах на основе белого ИЧ300Х32N2М2ТЛ чугуна учился. По его словам, были изучены типы карбидов, образующихся в структуре при изменении количества элементов Cr, Ni, Mn, Si и Ti в сплаве (рис. 4).

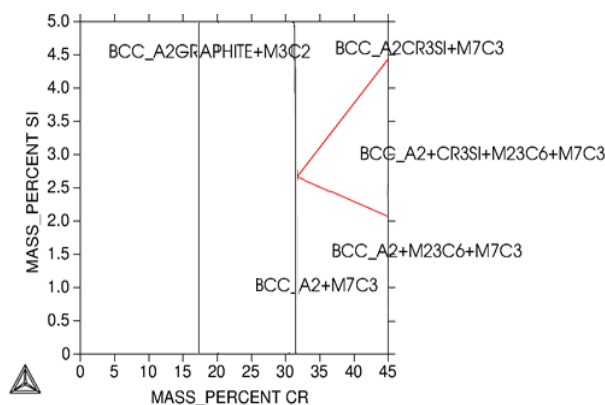


Рисунок-4. Диаграмма состояния Fe-3,1C-Cr-Si . T-200⁰C

Из диаграммы состояния Fe-3,1C-Cr-Ni видно, что перлит и аустенит на металлической основе и карбиды типа M_7C_3 , которые важны для механических и эксплуатационных свойств сплава, когда содержание хрома в сплаве выше. более 16,5-17% и содержание никеля 0,2- Было обнаружено, что начало образования составляет 0,7%. В случае хрома и никеля ниже этого количества мы можем увидеть образование графитов и карбидов типа M_3C_2 , которые еще не разложились по всей структуре. Было установлено, что наличие хрома и никеля в количестве, превышающем указанное, приводит к удорожанию сплава и образованию в структуре карбида $M_{23}C_6$.

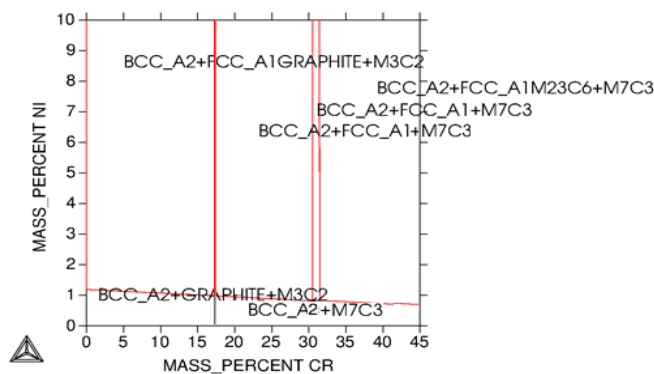


Рисунок-5. Диаграмма состояния Fe-3,1C-Cr-Ni . T-200⁰C

Когда количество марганца достигает 3-4%, мы видим полностью сформированную структуру феррита. В частности, карбиды M_7C_3 образуются несмотря на то, что металлической основой сплава является феррит и, что наиболее важно, количество марганца невелико, когда содержание марганца составляет 0,7-0,8%, а количество хрома составляет 16-45%.

При анализе диаграмм состояния Fe-3,1C-Cr-Mn и Fe-3,1C-Cr-Si для полного образования M_7C_3 карбидов в сплаве достаточно наличия от 16,5 до 26 % хрома в сплаве. При содержании хрома в сплаве до 17% определялось наличие в структуре непереваренных графитов и карбидов типа M_3C (рис. 6).

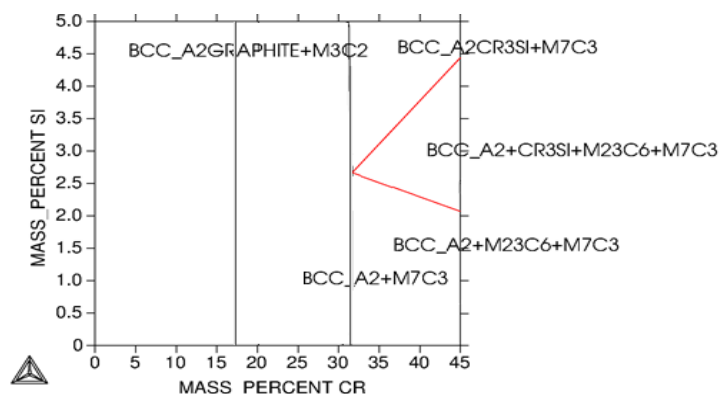


Рисунок-6. Диаграмма состояния Fe-3,1C-Cr-Si . T-200°C

Когда количество хрома превышало 26,5%, было обнаружено, что в структуре начал образовываться карбид $M_{23}C_6$. При исследовании диаграмм состояния Fe-3,1C-Cr-Mn и Fe-3,1C-Cr-Si было определено количество Mn и Si в диапазоне 0,4-0,6%. -абразивные свойства сплава значительно повысились (рис. 7).

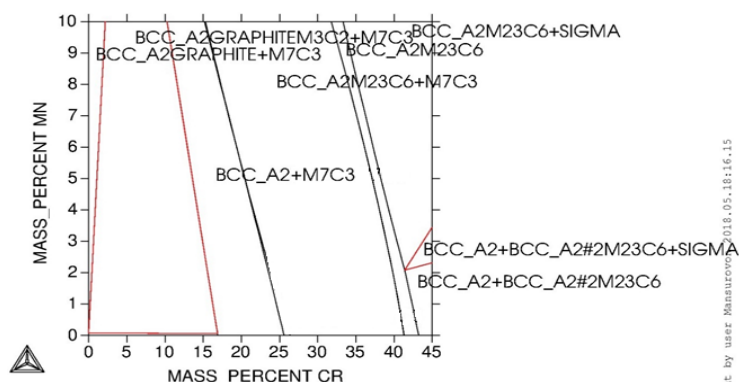


Рисунок-7. Диаграмма состояния Fe-3,1C-Cr-Mn . T-200°C

В пятой главе диссертации «**Оптимизация химического состава, структуры и технологий литья износостойкого белого чугуна**» проведен анализ и заключение диаграмм термодинамического состояния более 50 трех-, четырех- и многокомпонентных систем с использованием В программе Thermo-Calc дополнительно было выбрано оптимальное количество молибдена для образования карбидов в сплаве. Состав нового экономичного белого чугуна был рекомендован в следующем составе (таблица 3):

Таблица 3

Экономно белый чугун марки ИЧ330Х17Л

Химический состав, % по массе								
C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	S	P	Fe
3,2-3,4	16-18	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,5	до 0,06	до 0,1	Ост.

Химический состав образцов определялся на основе промежуточных величин химического состава с целью определения и сравнения механических свойств экономичного белого чугуна марки ИЧ330Х17Л (таблица 4).

Таблица 4

Примеры состава полученного чугуна

Ингредиенты, % по массе	C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	S	P	Fe
Пример 1 (чугун ниже нижнего заявленного состава)	3,1	15	0,3	0,3	0,3	0,35	0,06	0,1	80,49
Пример 2	3,2	16	0,4	0,4	0,4	0,40	0,06	0,1	79,04
Пример 3	3,3	17	0,5	0,5	0,5	0,45	0,06	0,1	77,59
Пример 4	3,4	18	0,6	0,6	0,6	0,50	0,06	0,1	76,14
Пример 5 (чугун выше верхнего заявленного состава)	3,5	18	0,7	0,7	0,7	0,55	0,06	0,1	75,69

Исходя из химического состава экономичной марки белого чугуна, приведенного в таблице 3, в центральной лаборатории Навоийского машиностроительного завода НГМК определяли механические свойства сплава (таблица 5).

Таблица 5

Механические свойства белых чугунов

Марки чугунов	Ударный вязкость, KCV , Дж/см ²		Предел прочности на изгиб, σ_b , МПа		Твердость, HRC_{Σ}	
	Измеренный	По ГОСТ	Измеренный	По ГОСТ	Измеренный	По ГОСТ
1-пример	5,8-6,3	10	310-320	400	40-42	58
2-пример	10,3-10,8		400-410		46-48	
3-пример	10,0-11,0		411-422		49-50	
4-пример	10,8-11,1		405-418		48-50	
5-пример	9,5-10,1		409-415		49-51	

Предлагаемый экономичный состав износостойких белых чугунов (примеры 2-4) может обеспечить требуемые механические свойства деталей и их деталей, работающих в абразивных и ударно-абразивных средах. Это связано с тем, что механические свойства экономичного белого чугуна ИЧ330Х17Л, который традиционно используется в абразивных и ударно-абразивных средах, по сравнению с белым чугуном марки ИЧ280Х29НЛ (Таблица 6).

Таблица 6

Механические и эксплуатационные свойства белого износостойкого чугунов марки ИЧ280Х29НЛ и ИЧ330Х17Л

Марка чугуна	ИЧ280Х29НЛ	ИЧ330Х17Л (предложенного состава)
Твердость без термообработки, HRC _Э	42-43	49-50
Твердость в термообработанном состоянии (закалка), HRC _Э	52-53	58-61
Ударная вязкость KCV без термообработки, Дж/см ²	10-11	10,2-115
Ударная вязкость KCV в термообработанном состоянии (закалка), Дж/см ²	8,5-9,5	8,8-9,8
Предел прочности без термообработки, σ _в , МПа	390-398	403-407
Предел прочности в термообработанном состоянии (закалка), σ _в , МПа	415-420	427-431

На Навоийском машиностроительном заводе НГМК, одной из ответственных частей роторной дробилки KEV-96, «питающие диски» часть в настоящее время изготавливается из литейных форм из белого чугуна ИЧ280Х29НЛ.

С целью оптимизации технологии литья белого чугуна и экономии легирующих элементов, новая часть «литейного диска» нового белого чугуна ИЧ330Х17Л была отлита в песчаных формах с использованием внешних охладителей чугуна (рис. 8).

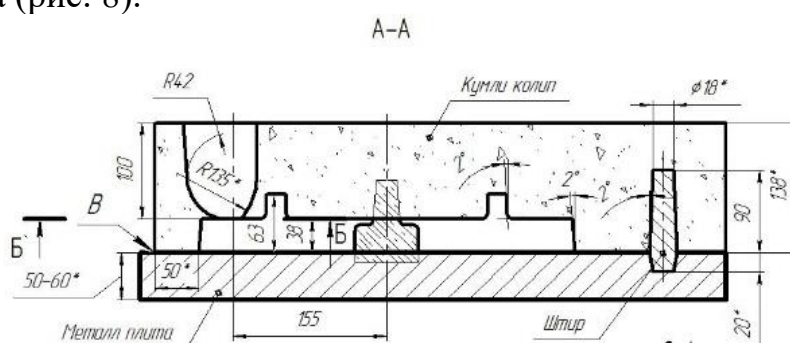


Рисунок 8. Получение отливки «питающий диск» в песчаной форме с использованием внешнего металлического холодильника

Каждая отливка «питающий диск» из белого чугуна марки ИЧ330Х17Л проходила индивидуальную термообработку по разным режимам в электропечи модели Н-85. В результате анализа твердости и механических свойств термообработанных деталей был выбран наиболее оптимальный вариант термообработки (рис 9).

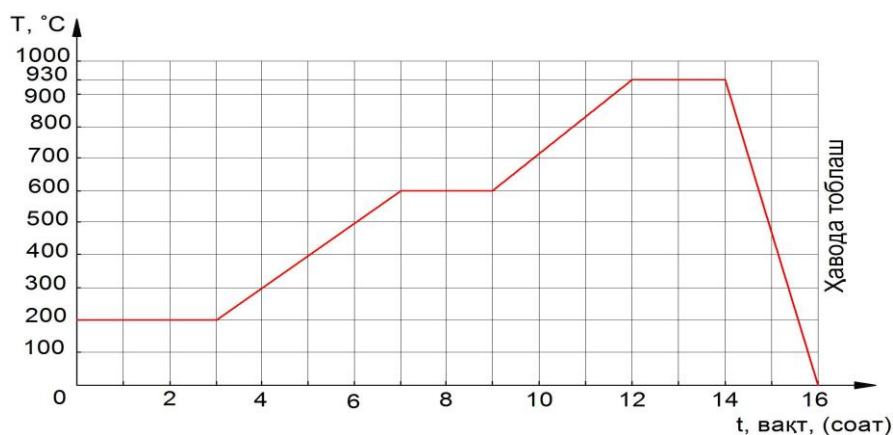


Рисунок 9. Наиболее оптимальный вариант термообработки белого чугуна

Было обнаружено, что температуры 920-960 °С достаточно для разложения аустенитных фаз в сплаве. При нагреве сплава до температуры выше 920-960 °С и охлаждении на воздухе в конструкции наблюдались небольшие трещины.

Все части подающего диска были испытаны в производственном масштабе на дробилках четвертой ступени KEV 96 SEMCO в собственном цехе выщелачивания Центрального руда управления НГМК. В ходе эксперимента несколько деталей из белого чугуна ИЧ330Х17Л (номер диски 1-4) и ИЧ280Х29НЛ (номер диски 5 и 6) были последовательно пронумерованы и измерены их массы для определения абразивных и ударно-абразивных свойств деталей (рисунок 10).



Рисунок 10. Состояние «питающие диски» при эксплуатации

Чтобы сравнить время работы приводных дисков и выразить экспериментальный результат, а также определить коэффициент износа в единицу времени, был построен следующий график (рисунок 11).

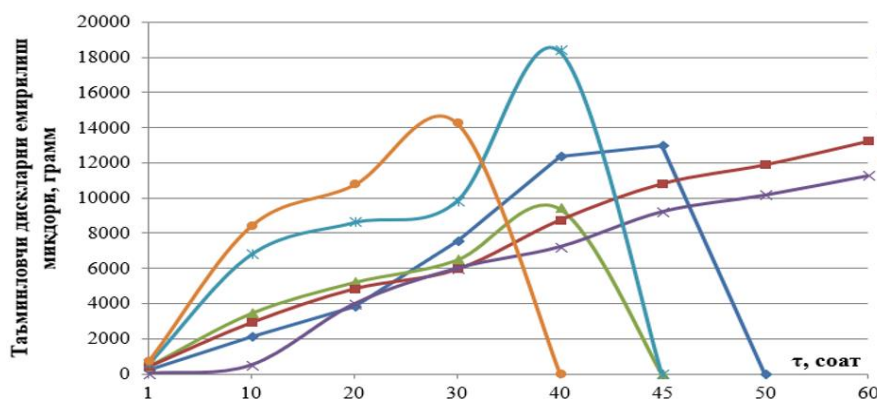


Рисунок 11. График износа «питающий диск» в процессе эксплуатации

Несмотря на низкую стоимость предлагаемых износостойких дисков из белого чугуна экономичной марки ИЧ330Х17 длительная работа белых чугунов на 22-28 часов по сравнению с традиционными дисками традиционной марки ИЧ280Х29НЛ оказалась экспериментальной в масштабе производства. Основная причина этого в том, что он приготовлен современными оптимальными методами в процессе литья и термообработки. После эксплуатационное состояние деталей «питающие диски» показано на следующем рисунке (рисунок 12).



Детали «питающий диск» из белого чугуна 1-4 – ИЧ330Х17Л и 5-6 – ИЧ280Х29НЛ

Рисунок 12. Детали «питающий диск» после завершения испытаний

Результаты диссертационного исследования опробованы в 2018-2020 годах на ГП НГМК НМЗ и ЦКВЗ Центрального горного рудоуправления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлен процесс формирования структуры модельных трех-, четырех- и многокомпонентных сплавов на основе системы Fe-C, легированных марганцем, хромом, никелем, молибденом, титаном, кобальтом, ванадием,

введенных в сплавы порознь и одновременно в количествах, определенных составом многокомпонентных износостойких белых чугунов, а именно: хрома (до 45%), никеля (до 10%), марганца (до 10%), углерода (до 4%), кремния (до 5%), титана (до 10%), молибдена (до 5%), ванадия (до 6%).

2. Построены диаграммы состояния трёх-, четырёх- и многокомпонентных систем типа Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr -Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn, их изо (при температуре 200°C)- и политермические сечения, позволившие обогатить теорию диаграмм состояния - основы чугунов в области концентраций хрома (от 16 до 34%), никеля (от 0,4 до 3%), марганца (от 0,4 до 2%), углерода (от 2,4 до 4%), кремния (от 0,3 до 2%), титана (от 0,4 до 5%), молибдена (от 0,2 до 3%), ванадия (от 0,01 до 2%). Определены точки изменения составов фазовых равновесий, включая легированный твердый раствор на основе железа, многокомпонентные карбиды, смесь фаз на основе твердого раствора железа и карбидов.

3. Определены относительное весовое количество твердого раствора на основе железа на уровне 61-64%, карбидных фаз на уровне 36-39%. Установлено наличие новых фаз типа TiC, Cr₃Si в многокомпонентных системах, отвечающих, в том числе, как, например, фаза, содержащая кремний, расширению интервала кристаллизации, соответственно, повышению литейных свойств сплавов. Карбид титана повышает дополнительно твердость сплавов, являясь центром кристаллизации, способствует измельчению зеренной структуры.

4. Установлены типы карбидов в высоколегированных белых чугунах. Выявлено, что по мере увеличения количества легирующих элементов, в сплавах могут образоваться соединения со следующим стехиометрическим соотношением компонентов: M₃C, M₆C, M₅C₂, M₇C₃, M₂₃C₆. Впервые получен эффект направленной кристаллизации сложнолегированных карбидов.

5. В процессе производства в результате упрощения химического состава белого чугуна легирующие элементы, в том числе феррохром, сэкономились на 40%, никель на 45%, а все остальные химические элементы в среднем на 10-20%. % на 1 тонну произведенного сплава. В результате использования процессов литья и оптимальных стандартов термической обработки при изготовлении дисковых деталей поставщика срок службы деталей был увеличен как минимум на 20%, а стоимость деталей снижена на 30%.

6. В результате исследований был создан новый сплав, состав которого следующий: углерод 2,6-2,9%, марганец 0,4-0,8%, хром 27-30%, кремний 0,5-0,6%, никель 0,5-1,5%, ванадий 0,01-0,02% и остальное железо.

7. Создана вторая экономичная марка коррозионно-стойкого белого чугуна следующего состава: углерода 3,2-3,4%, марганца 0,4-0,6%, хрома 16-18%, кремния 0,4-0,6%, никеля 0,4-0,6%, молибден до 0,4-0,5%, остальное до железа. Создана технология литья готовых деталей, оптимальные параметры термообработки (940 ± 100С).

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

NAVOI BRANCH OF THE ACADEMY OF SCIENCES

JUMAEV AKHMADJON ABDUVOKHIDOVICH

**OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF WHITE
WEAR-RESISTANT IRONS TO OBTAIN THE REQUIRED
PERFORMANCE PROPERTIES**

**05.02.01 - «Materials science in mechanical engineering. Casting. Thermal and pressure
treatment of metals. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals. Technology of
rare, valuable and radioactive elements »**

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

Tashkent – 2021

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered by the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for B2020.2.PhD/T1586

The dissertation has been carried out at the Navoi department of the academy of sciences

The synopsis of the thesis in three languages (Uzbek, Russian and English (summary)) is posted on the website of the Scientific Council (www.tstu.uz) and the information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz)

Scientific supervisor: **Mansurov Yulbarskhon Nabievich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Nurmurodov Salokhiddin Dusmurodovich**
doctor of technical sciences, professor

Atajanov Gapur Latibovich
candidate of technical sciences, docent

Leading organization **Andijan Machine-Building Institute**

The defense of the dissertation consists of «28» august 2021 at 11:00 hours at a meeting of the Scientific Council No DSc.03/30.12.2019.T.03.04 under the Tashkent State Technical University. (Address: 100095, Tashkent, st. Universitetskaya 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The dissertation could be reviewed found at the Information-resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University (registration number 217). (Address: 100095, Tashkent, st. Universitetskaya 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32

Abstract of dissertation has been sent out on «16» august 2021.
(mailing report №. 125 on «16» august 2021).

K.A.Karimov
Chairman of scientific Council for the
Award of the scientific Degrees, Doctor
of Technical Sciences, Professor

Sh.B.Tashbulatov
Scientific Secretary of the Scientific Council
for the Awarding Degree,
Doctor of philosophy in technical sciences

N.J.Turakhodjaev
Chairman of the Scientific Seminar at the
Scientific Council for the Award of the
scientific Degrees, Doctor of Chemical
Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the research work based on the revealed regularities of the relationship between the chemical and phase composition of model alloys, the establishment of the phase composition of high-alloyed white wear-resistant cast irons for localizing the production of imported parts used in abrasive and shock-abrasive environments in the structures of mining machines, bringing the structure and properties of white cast iron to the level industry requirements, as well as saving alloying components due to their optimization.

The object of the research work are for comparison, samples from 280H29NL, 300H32N2M2TL and foreign alloys ASTM A-532 (class 2) and wear-resistant white cast iron Ni-Hard 4.

Scientific novelty of the research work.

- the process of formation of the structure of model three-, four- and multicomponent alloys based on the Fe-C system, alloyed with manganese, chromium, nickel, molybdenum, titanium, cobalt, vanadium, introduced into alloys separately and simultaneously in amounts determined by the composition of multi-component wear-resistant whites has been established cast irons, namely: chromium (up to 45%), nickel (up to 10%), manganese (up to 10%), carbon (up to 4%), silicon (up to 5%), titanium (up to 10%), molybdenum (up to 5%), vanadium (up to 6%). For the first time in Uzbekistan, using the Thermo-Calc program, three-, four- and multicomponent (Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr-Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn, ...) systems that made it possible to clarify the phase composition, equilibria, transitions in white cast iron;

- state diagrams of three-, four- and multicomponent systems such as Fe-C-Cr, Fe-C-Ni, Fe-C-Mn, Fe-C-V, Fe-C-Mo, Fe-C-Co, Fe-C-Cr-Ni, Fe-C-Cr-Mn, Fe-C-Cr-Mn, their iso (at a temperature of 200 ° C) - and polythermal sections, which made it possible to enrich the theory of state diagrams - the basis of cast irons in the range of chromium concentrations (from 16 to 34 %), nickel (from 0.4 to 3%), manganese (from 0.4 to 2%), carbon (from 2.4 to 4%), silicon (from 0.3 to 2%), titanium (from 0.4 to 5%), molybdenum (0.2 to 3%), vanadium (0.01 to 2%). The points of change in the compositions of phase equilibria, including an alloyed solid solution based on iron, multicomponent carbides, and a mixture of phases based on a solid solution of iron and carbides, have been determined.

- the relative weight amount of the solid solution based on iron was determined at the level of 61-64%, of the carbide phases at the level of 36-39%. The presence of new phases of the TiC, Cr₃Si type in multicomponent systems has been established, which, among other things, are responsible for, for example, a phase containing silicon, an expansion of the crystallization range, and, accordingly, an increase in the casting properties of alloys. Titanium carbide additionally increases the hardness of the alloys, being the center of crystallization, contributes to the refinement of the grain structure.

-the types of carbides in high-alloyed white cast irons have been established. It was revealed that as the amount of alloying elements increases, compounds with the

following stoichiometric ratio of components can be formed in alloys: M_3C , M_6C , M_5C_2 , M_7C_3 , $M_{23}C_6$. For the first time, the effect of directional crystallization of complexly alloyed carbides was obtained.

- boundary conditions have been established for the carbon content in white economically alloyed wear-resistant cast irons, as well as alloying elements. The boundaries are 2.6-2.9% for carbon, chromium 26-29%, nickel 0.5-1.5%, manganese 0.4-0.8%, vanadium 0.01%) -0.02% , silicon up to 1.5%.

- for the production of wear-resistant parts from new white cast iron, the parameters for heating the liquid melt were set at $1390 \pm 100^\circ\text{C}$, the cooling rate was $202 \pm 3^\circ\text{C} / \text{h}$; heat treatment parameters: normalization from $940 \pm 10^\circ\text{C}$, 3 hours, low tempering at a temperature of $230 \pm 100^\circ\text{C}$, 2.5 hours.

Implementation of the research results. According to the results obtained by the casting methods of wear-resistant white cast iron:

- on the basis of the developed casting technologies from wear-resistant white cast iron, parts "feed disc" were made from the proposed grade of white cast iron in sand molds using external metal coolers and the resulting castings were subjected to optimal heat treatment. The "feed disk" part was introduced at the Navoi Machine-Building Plant of the Navoi Mining and Metallurgical Combine (AO NMMC reference No. 02-06-04 / 6177 dated June 1, 2021 and No. 02-06-07 / 2390 dated February 24, 2020.). As a result, due to the simplification of the chemical composition of white cast iron, alloying elements, including ferro-chromium, by 40%, nickel by 45%, and all other chemical elements, by an average of 10-20%, were saved by 1 ton;

- as a result of the proposed chemical composition of white cast iron, changes in casting technology and optimization of heat treatment technology, the impact toughness of castings increased by 1.2-1.5 times, hardness - by 1.2-1.5 times;

low use of alloying elements for alloys, improvement of the mechanical properties of parts, as well as an increase in the service life of mining equipment by 20% and a decrease in the cost of castings by 30%.

Structure and volume of the dissertation. The content of the thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The volume of the thesis is 117 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Jumaev A.A. Comparative study of the structure of castings from white wear resistant cast iron // International Journal of Advanced Research In Science, Engineering And Technology. Vol. 5, Issue 12, December 2018. 7577-7777 -p. www.ijarset.com. (05.00.00 № 8).
2. А.Жумаев. Повышение износостойкости высокохромистых белых чугунов // Вестник ТГТУ, -Ташкент, 2019. -№ 2. -С.100-105. (05.00.00 № 16)
3. А.Жумаев, Ю.Ганиев, Р.Худойбердиев, Ж.Комилов. Сравнительное исследование структуры отливок из износостойких чугунов // Горный вестник Узбекистана, -Навои, 2019. -№ 2. -С. 99-100. (05.00.00 № 7).
4. А.Жумаев, К.Абдуллаев, З.Бободустов, Г.Улугов. Влияние термической обработки на структуру износостойких чугунов // Горный вестник Узбекистана. -Навои, 2020. -№ 1. -С. 63-65. (05.00.00 № 7).
5. А.Жумаев, Ю.Мансуров, О.Щечалин. Исследование влияния плазменно-искровой обработки на микроструктуру и свойства сплавов на основе железа и углерода, используемых в железнодорожном транспорте // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. -Ташкент, 2020. -№ 2. -С. 83-98. (05.00.00 № 11).
6. А.Жумаев, К.Абдуллаев, Х.Ахмедов, Г.Улугов. Влияние литейных холодильников на структуру высокохромистых белых износостойких чугунов // Горный вестник Узбекистана. -Навои, 2020. -№ 3. -С. 95-97. (05.00.00 № 7).
7. А.Жумаев, Ю.Мансуров, Дж.Маматкулов, К.Абдуллаев. Фазовые превращения в сплавах железа с углеродом, легированных РЗМ и ПМ // Черные металлы. -Москве, 2020. -№-11 (1067). -С. 22-28. (Scopus, Q2, SJR: 0,43, H Index: 7).
8. А.Жумаев, Ю.Мансуров, Дж.Маматкулов, Г.Улугов. Оптимизация состава и структуры износостойких белых чугунов, используемых в горнодобывающей промышленности // Черные металлы. -Москве, 2020. -№-12 (1068). -С. 4-9. (Scopus, Q2, SJR: 0,43, H Index: 7).

II бўлим (II часть; part II)

1. А.Жумаев. Термической обработки белого износостойкого чугуна // Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Ёш олимлар ахборотномаси» № 3/4, 2018 й. -С. 46-48.
2. А.Жумаев. Сравнительное исследование структуры отливок из белых износостойких чугунов // Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси «Ёш олимлар ахборотномаси» № 3/4, 2018 й. -С. 52-54.
3. A.Jumaev. Selection of the optimal method of the purifying the white wear resistance of iron make 300X32N2M2TL // Международный научный журнал «Вестник Науке». Тольятти-2019. № 6 (15) Том 1. -Ст. 9-12.

4. А.Жумаев, Ю.Мансуров. Улучшение технологических свойств белого чугуна марки 300X32H2M2TL // XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ мавзусидаги республика илмий ва илмий-техник анжуман. Тошкент-2018, 30-март, -С. 94.
5. А.Жумаев, Ю.Мансуров, К.Барановский, П.Дувалов, А.Герасико, Е.Микишко. Повышение ресурса работы деталей из износостойких хромистых чугунов // Министерство Образования Республики Беларусь, Металлургия Республиканский Межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 40, Минск, БНТУ 2019. -Ст. 78-83.
6. А.Жумаев, К.Абдуллаев, З.Бободустов, Р.Худойбердиев. Влияние термической обработки на структуру износостойких чугунов // Международный научный журнал. «Вестник Науке». Тольятти-2020. № 1 (22) Том 1. -Ст. 135-139.
7. А.Жумаев, К.Барановский, Ю.Мансуров. Анализ микроструктуры износостойких хромистого чугунов после термической обработки // Литье и Металлургия. -Минск, 2021. -№ 1. -С. 142-148.
8. А.Жумаев, Ю.Мансуров, Г.Улогов, Х.Салимжонов. Влияние литейных холодильников на структуру сплава 300X32H2M2HL // “Таълим, фан ва ишлаб чикариш интеграциясида инновацион технологияларни қўллаш мамлакат тараққийетининг муҳим омили” мавзусидаги XV республика илмий-амалий конференцияси. Самарканд-2018, 2-3 июн, -С. 53-54.
9. А.Жумаев, Х.Тўхтаев, М.Истамова. Оптимизация состав, свойства и структура высоко хромистых белых чугунов // Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. Пенза-2019, 5 февраль, -Ст. 92-95.
10. А.Жумаев. Исследование структуры отливок из белых износостойких чугунов // XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ мавзусидаги республика илмий ва илмий-техник анжуман. Тошкент-2019, 29 март, -С. 241.
11. А.Жумаев. Исследование влияния состава и структуры на износостойкость белых износостойких чугунов // XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ мавзусидаги республика илмий ва илмий-техник анжуман. Тошкент-2019, 29 март, -С. 242.
12. А.Жумаев. Исследование структуры отливок из белых износостойких чугунов. Повышение износостойкости и твердости белых износостойких чугунов // XXI АСР – ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ЁШЛАР АСРИ мавзусидаги республика илмий ва илмий-техник анжуман. Тошкент-2019, 29 март, -С. 243.
13. А.Жумаев, М.Истамова. Выбор оптимального метода травления белых износостойкости чугуна марка 300X32H2M2TL // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Пенза-2019, 5 июнь, -Ст. 65-67.
14. А.Жумаев, У.Рахматов, К.Абдуллаев, Ю.Ганиев, З.Бободустов, Ж. Комилов, Г.Улогов. Оптимизация режимов термической обработки сплава 280X29HL // XXIV Международная научно-практическая конференция. «ИННОВАЦИЯ - 2019». Ташкент-2019. 25-26 октября, -Ст. 190-192.

15. А.Жумаев, Г.Улогов. Влияние литейных холодильников на структуру белых износостойких чугунов // XXIV Международная научно-практическая конференция. «ИННОВАЦИЯ - 2019». Ташкент-2019. 25-26 октября, -Ст. 195-196.

16. А.Жумаев, Ю.Н.Мансуров, К.Э.Барановский, Г.Д.Улогов. Повышение ресурса работы деталей центробежных дробилок «Семсо кеv 96» за счет ускоренного охлаждения отливок // 15-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1. Минск-Тула-Донецк - 2019. 29-30 октября, -Ст. 72-74.

17. А.Жумаев, Ю.Мансуров. Влияние охлаждающих систем на структуру белых износостойких чугунов // Международная конференция молодых ученых. «Наука и инновации». Ташкент-2019. 1 ноября. -Ст. 235-237.

18. А.Жумаев. Влияние литейных холодильников на структуру высокохромистых белых износостойких чугунов // Фан ва таълимни ривожлантиришда ёшларнинг ўрни мавзусидаги Республика илмий ва илмий-техник анжумани. Тошкент-2020. 30 октябрь, -Ст. 31-32.

19. А.Жумаев. Влияние литейных холодильников на структуру высокохромистых белых износостойких чугунов // «Лучший молодой ученый – 2020»: Содружество независимых государств Нур-Султан, Казахстан-2020, 28 Сентябрь, -Ст. 86-89.

Автореферат “Technical Science and innovation” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги
текширилди

Босишга руҳсат этилди: 12.08.2021 йил
Бичими 60x84^{1/16}, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3. Буюртма № 49. Адади: 40.
ТТЕСИ босмахонасида чоп этилган.
100100, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Шохжаҳон кўчаси, 5-уй.

