

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.T.02.04  
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ABDULLAYEV FARRUXJON KOMILJON O'G'LI**

**300X28H2JI MARKALI CHO'YANNING YEYILISHBARDOSHLIGI VA  
YUZA QATTIQLIGINI OSHIRISH TEXNOLOGIYASINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

**05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim  
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. (Quymachilik va  
metallarga ishlov berish texnologiyasi yo'nalishi)**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2026**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)  
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

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

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

**Abdullayev Farruxjon Komiljon o'g'li**

300X28H2Л markali cho'yanning yeyilishbardoshligi va yuza qattiqligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish.....3

**Абдуллаев Фаррухжон Комилжон угли**

Совершенствование технологии повышения износостойкости и поверхностной твердости чугуна марки 300X28H2Л .....20

**Abdullaev Farrukhjon Komiljon ugli**

Improvement of the technology for increasing the wear resistance and surface hardness of 300X28H2Л grade cast iron.....38

**E'lon qilingan ishlar ro'uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works.....45

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/2025.27.12.T.02.04  
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ABDULLAYEV FARRUXJON KOMILJON O'G'LI**

**300X28H2JI MARKALI CHO'YANNING YEYILISHBARDOSHLIGI VA  
YUZA QATTIQLIGINI OSHIRISH TEXNOLOGIYASINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

**05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. (Quymachilik va metallarga ishlov berish texnologiyasi yo'nalishi)**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2026**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.3.PhD/T3900 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb sahifasida ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) va “Ziyonet” Axborot ta’lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Tashbulatov Sherzod Baxtiyarovich**  
texnika fanlari doktori, dotsent

**Rasmiy opponentlar:**

**Norxudjayev Fayzulla Ramazanovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Allanazarov Akmal Abdulxaqovich**  
texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori  
(PhD), dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

Namangan davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/2025.27.12.T.02.04 raqamli Ilmiy kengashining 2026 yil «13» may soat 14<sup>00</sup> dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko‘chasi 2-uy. Tel./faks: (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@edu.uz](mailto:tadqiqotchi@edu.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universiteti Axborot resurs markazida tanishish mumkin (104 - raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko‘chasi 2-uy. Tel./faks: (99871) 227-10-32).

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «30» aprel kuni tarqatilgan.  
(2026 yil «29» apreldagi № 215-raqamli reestr bayonnomasi).

**K.A.Karimov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash raisi, t.f.d., professor

**Sh.B.Tashbulatov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari doktori  
(DSc), dotsent

**N.D.Turaxodjayev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash qoshidagi ilmiy seminar  
raisi, t.f.d. professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda yuqori xromli cho‘yan qotishmalariga termokimyoviy va strukturaviy ishlov berish jarayonlarini intensivlashtirish, resurstejamkor texnologiyalarni joriy etish va mahsulot sifatini oshirishga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan AQSh, Germaniya, Avstraliya, Xitoy, Rossiya mamlakatlarida yuqori xromli cho‘yanlarni ultra-dispers kukunlari va kamyob yer elementlari bilan modifikatsiyalash hamda kompleks legirlash usullari keng qo‘llanilmoqda. Bu borada jumladan, yuqori xromli cho‘yan qotishmalarining kristallanish jarayonida mikrotuzilmaviy shakllanish sharoitlarini o‘rganish, evtektika va karbid fazalarining mahalliy hamda markazlashtirilgan taqsim ot maydonlarini tahlil qilish, ishqalanish va abraziv yeyilish qonuniyatlari hamda texnologik cheklovlarni (mo‘rtlik va termik kuchlanishlar) bartaraf etish orqali qotishmaning chidamliligini oshirish va resurs sarfini optimallashtirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda tog‘-kon sanoati mashinalari ehtiyot qisimlarining yeyilishbardoshliligini sezilarli yaxshilash, xususan yuqori xromli cho‘yanlarni ultra-dispers kukunlari va kamyob yer elementlari bilan modifikatsiyalash, ya’ni suyuq metallga nano-o‘lchamli oksidlar va nitridlar kukunini kiritish orqali yuqori xromli cho‘yan strukturaning keskin maydalashishi, ularni struktura bo‘ylab bir tekis taqsimlanishi, qattiqligi va o‘lchamlar barqarorligini ta’minlash, zarbiy qovushqoqligini oshirish, ichki kuchlanishlarni kamaytirish hamda quyma detallarning darz ketish xavfini bartaraf etishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, yuqori xromli cho‘yan tarkibiga molibdenni modifikator sifatida qo‘shish orqali qotishmaning yeyilishga bardoshliligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar ustivor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, yuqori xromli cho‘yanlardan quyib olinadigan detallarni molibdenning cho‘yan tarkibida hosil qiladigan kimyoviy birikmalarning strukturaga ta’sir qilish mexanizmini, cho‘yanning qolip ichida sovush tezligining yuza qattiqligiga ta’sir etish darajasini, qolip materialining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini hamda qolip ichida sovutish texnologiyasi qolip materiali va quyma orasidagi issiqlik almashinuv koeffitsiyentining haroratga bog‘liq ravishda o‘zgarish dinamikasini aniqlash orqali quyish texnologiyasini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda tog‘-kon sanoati mashinalari ehtiyot qisimlarini ishlab chiqarishda energiyatejamkor va resurstejamkorlikka asoslangan hamda ehtiyot qisimlar ish unumdorligini oshirishga qaratilgan zamonaviy texnologiyalarni yaratish bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazish va ularni amalda qo‘llash bo‘yicha keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “...mashinasozlik korxonolari negizida kon-metallurgiya mashinalari, texnikalari va uskunalarini ishlab chiqarishni joriy etish va mahsulot turlarini kengaytirish, mahalliyashtirish darajasini oshirish hamda ular uchun zarur jihozlar va butlovchi qismlarni ishlab chiqarishni tashkil etish

...”<sup>1</sup> bo’yicha vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, tog‘-ko sanoati mashinalari va agressiv muhitda ishlovchi uskunalari ehtiyot qismlarini ishlab chiqarishda yangi, zamonaviy va resurstejamkor hisoblangan modifikatsiyalash va termik ishlov berish texnologiyalarini ishlab chiqish, jumladan yuqori xromli cho‘yan tarkibiga molibdenni modifikator sifatida qo‘shish orqali modifikatorlarning mikrotuzilmadagi karbidlar morfologiyasiga hamda ichki kuchlanishlar taqsimotiga ta’sirini aniqlash muhim hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni, 2022-yil 24-yanvardagi “Respublikada ishlab chiqarishni rivojlantirish va sanoat kooperatsiyasini kengaytirishning samarali tizimini yaratish chora – tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ – 99 – son hamda ushbu 2.1 – ilovasidagi, 2022 – yilda iqtisodiyotning muhim tarmoqlari bo’yicha yangi turdagi mahsulotlarni yaratish va mavjud ishlab chiqarish quvvatlarini kengaytirish loyihalari, va 2022 yil 6 iyuldagi PQ-307-sonli “2022-2026 yillarda O‘zbekiston Respublikasining innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo’yicha tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy xujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II “Energetika, energiya va resurstejamkorlik” ustuvor yo‘nalishi talablariga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Jahon miqyosida metallurgiya va quymakorlik sanoatida yetakchi o‘rinlarni egallagan Amerika olimlari Jeffrey A Hawk, Leander Thiele, K. H. Zum Gahr, A. Bedolla-Jacuinde, F.V. Guerra, A.J. Guerrero-Pastran, M.A. Sierra-Cetina, S. Valdez-Medina yeyilishbardosh yuqori xromli oq cho‘yanlarni issiqlik bilan ishlov berishga bog‘liq holda mikro tuzilishi va yeyilishga bardoshlilik o‘rtasidagi bog‘liqlikni hamda yuqori xromli oq cho‘yanga (tarkibi 17% Cr, 3% C, 1% Ni va 1% Mo) bor qo‘shishning (1,197% gacha) mikrostruktura, qattqlik va abraziv yeyilishiga ta’siri ustida ilmiy tadqiqotlar olib borib, qotishma tarkibiga bor qo‘shilishi natijasida karbidlarning umumiy miqdori 27,1% dan 53,84% gacha oshib yeyilish bardoshligi yuqori quyma mahsulot olishga erishilgan. Germaniya olimlari U. Pranav Nayak, Frank Mucklich, Maria Agustina Guitar, Sebastian F. Fischer, Stefan Muschna, Matthias Bunck yeyilish bardosh oq cho‘yanlarni issiqlik bilan ishlov berishning cho‘yanning mikrostrukturasi va yeyilishga (eskirishga) chidamliligiga ta’siri o‘rganilgan, tadqiqot natijalariga ko‘ra, issiqlik bilan ishlov berish parametrlari optimallashtirilib, materialning mexanik xususiyatlari yaxshilash texnologiyasini ishlab chiqilgan. Avstraliya olimlari Pourasiabi Lighvan hamda G.D.Nelson o‘z ilmiy ishlarida yeyilishbardosh oq cho‘yanlarni Niobiy karbidi bilan modifikatsiyalash yo‘li bilan yeyilishbardoshligi yuqori detallar olish va ularni baholash ustida tadqiqot ishlarini olib borishgan, NbC qo‘shilishi natijasida qattiq karbidli zarralar hosil bo‘lib,

---

<sup>1</sup>O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni.

ular metall strukturasi bir tekis taqsimlanadi. Bu esa materialning qattiqligini oshiradi va yeyilishgaga bardoshlilikini yaxshilaydi. NbC hajm fraksiyasi ortgan sayin, materialning qattiqligi 724 HV dan 812 HV gacha oshgan. Tadqiqotga ko'ra, har 1% NbC qo'shilishi natijasida qattqlikni 7,3 HV ga oshirilgani aniqlangan. Xitoy olimlari Xiaohui Zhi, Jiandong Xing, Yimin Gao, Hanguang Fu, Jiyun Peng, Bing Xiao oq cho'yanga issiqlik bilan ishlov berishning mikrostruktura va mexanik xususiyatlarga ta'siri o'rganilgan. Tadqiqotda Fe-17 % Cr-4 % C-1,5 % Ti tarkibli qotishma tahlil qilinib, issiqlik bilan ishlov berish jarayonida  $M_7C_3$  va TiC karbidlarining hajmi, taqsimoti va hajmiy ulushi, shuningdek, martensit tuzulishi o'rganilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, past haroratlarda va qisqa ushlab turish vaqtlarida 1 mkm dan kichik bo'lgan mayda ikkilamchi karbidlarining soni ortgan. Evtektik haroratga yaqin past ushlab turish haroratlari va uzoq ushlab turish vaqtlaridan foydalanish Ti bilan modifikatsiyalangan yuqori xromli cho'yanning yeyilish bardoshlilik va qattiqligini oshirish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

MDH davlatlaridan Rossiya olimlari P.A. Molochkov, A.S. Sozikina oq cho'yanlarning yeyilishga bardoshlilikiga ta'sir qiluvchi turli omillar, jumladan ekspluatatsiya sharoitlari, qotishmaning kimyoviy tarkibi, tuzilishi va issiqlik bilan ishlov berish jarayonlari ko'rib chiqilgan, ayniqsa, xrom va vanadiy kabi legirlovchi elementlarning yuqori xromli cho'yanlarning xususiyatlariga ta'sirini o'rganilgan. Yuqori xromli cho'yanlarning yakuniy mikrostrukturasini va qattiqligini oldindan aniqlash uchun matematik modellar ishlab chiqib, ushbu modellar termodinamik va kinetik tamoyillarga asoslanib, yuqori xromli cho'yanlarning optimal issiqlik bilan ishlov berish rejimlarini aniqlash texnologiyasi yaratilgan. Belarusiyaning BNTU universitetining olimlari N.I. Urbanovich, O.S. Komarov, I.B. Provorovlar molibden elementini kompleks modifikator tarkibida katalizator va modifikatsiyalovchi qo'shimcha sifatida qo'llash imkoniyatlarini o'rganib, erkin Gibbs energiyasining harorat bilan o'zgarishi hamda molibden asosidagi katalizator komponentlarining cho'yandagi kremniy va uglerod bilan o'zaro reaksiyalarini tahlil qilishgan. Bundan tashqari, yuqori haroratlarda eriydigan karbid va nitridlar hosil qiluvchi bor o'rniga, yuqori haroratda karbid hosil qiluvchi molibden oksididan foydalanish mumkinligi hamda hosil bo'ladigan ushbu karbidlar oq cho'yanni suyuqlantirish jarayonida grafit kristallarining shakllanishi uchun muhim asos bo'lib xizmat qilishini aniqlashgan. Qozog'iston olimlari A. Panichkin, A. Uskenbayeva, A. Kenzhegulov va boshqalar yuqori xromli cho'yan qotishmasi ustida ilmiy izlanishlar olib borishgan. Tadqiqotchilar modifikator sifatida 0,2 % miqdorida bor, molibden, vismut, qalay va kalsiy elementlarini suyuqlantirilgan metallga kiritganlar va sovutish tezligiga ta'sirini o'rganishgan.

O'zbekiston olimlari A.A. Muxammedov, F.R. Norxudjaev, B.Q. Tilabov, A.A. Yusupxodjaev, S.D. Nurmurodov va boshqalar oq cho'yanlarning yeyilishbardoshligini oshirish uchun strukturasi yaxshilash, optimal tarkibini ishlab chiqish va ularning mustahkamligini oshirish va pechdan tashqari ishlov berish texnologiyasini ishlab chiqishgan.

O'rganilgan ma'lumotlar natijasida ma'lum bo'ldiki, yuqori xromli cho'yanlardan quyib olinadigan detallarni molibdenning cho'yan tarkibida hosil

qiladigan kimyoviy birikmalarning strukturaga ta'sir qilish mexanizmini, cho'yanning qolip ichida sovush tezligining yuza qattiqligiga ta'sir etish darajasini, qolip materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini hamda qolip ichida sovutish texnologiyasi qolip materiali va quyma orasidagi issiqlik almashinuv koeffitsiyentining haroratga bog'liq ravishda o'zgarish dinamikasini aniqlash bo'yicha tadqiqotlar olib borilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy – tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti hamda Olmaliq kon-metallurgiya kombinati AJ korxonasi bilan hamkorlikdagi 23-avgust 2022-yilda tasdiqlangan № 63-7492 sonli xo'jalik shartnomasi asosida olib borilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** 300X28H2Jl markali cho'yanning yeyilish-bardoshligi va yuza qattiqligini oshirish texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

300X28H2Jl markali cho'yanning kimyoviy tarkibini tahlil qilish va molibden elementining qo'shilishi natijasida hosil bo'ladigan kimyoviy birikmalarni aniqlash. Ularning tuzilma (mikrostrukturaviy) o'zgarishlariga ta'siri hamda modifikatsiyalovchi elementning miqdori va kiritish usulining optimal parametrlarini belgilash.

Molibden bilan modifikatsiyalangan cho'yanning mexanik xossalarini o'rganish va ushbu jarayon asosida modifikatsiyalash texnologiyasini ishlab chiqish, qo'shilgan elementning ta'siri natijasida qotishmaning mustahkamlik, qattiqlik va yeyilishga bardoshlilik ko'rsatkichlarini tahlil qilish.

300X28H2Jl markali cho'yandan quyma usulda nasos parragini olish texnologiyasini ishlab chiqish, quyma jarayonida sovush tezligining o'zgarishi natijasida yuzada hosil bo'ladigan qattiqlik darajasini aniqlash va optimallashtirish.

Nasos parragiga termik ishlov berish rejimini ishlab chiqish va uni amaliyotda sinovdan o'tkazish. Bunda devor qalinligi va qolip materiali issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti hisobga olingan holda optimal qizdirish, ushlab turish va sovitish bosqichlarini aniqlash, termik ishlov berilgan hamda modifikatsiyalangan namunalarni solishtirish va ishlab chiqilgan texnologik yechimlarning samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida "OKMK" AJ korxonasining tarkibidagi MTMZ zavodida ishlatiladigan 300X28H2Jl markali yeyilishbardosh oq cho'yan olingan.

**Tadqiqotning predmetini** yeyilishga bardoshli oq cho'yanlarni modifikatsiyalash orqali cho'yanlardan tayyorlangan namunalarning sifatli strukturasi olish texnologiyasi tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot na'munalarning strukturaviy tahlillari uchun LV150N modeli metallografik elektron mikroskop usulidan foydalanilgan. Namunalar qattiqligi Brinnel usulidan foydalanib, Dura Vision-20 jihozida aniqlangan. Qotishma kimyoviy tarkibi "SPEKTROMETR-M5000" modeli spektrofotometr usulida aniqlangan. Tadqiqot namunalari zarbiy qovushqoqligini aniqlashda Charpy testi usulidan foydalanildi. Namunalarning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasini aniqlashda universal statik test sinov usulidan foydalanilgan. Tadqiqot namunalarning

yeyilish bardoshlilikini aniqlashda gorizontol olmos diskli ishqalash usulidan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:**

300X28H2JI markali cho‘yanni molibden bilan modifikatsiyalash texnologiyasi molibdenning cho‘yan tarkibida hosil qiladigan kimyoviy birikmalarning strukturaga ta’sir qilish mexanizmi asosida ishlab chiqilgan;

300X28H2JI markali cho‘yandan quyma usulda nasos parragini olish texnologiyasi cho‘yanning qolip ichida sovush tezligining yuza qattiqligiga ta’sir etish darajasi asosida ishlab chiqilgan;

300X28H2JI markali cho‘yandan quyma usulda olingan nasos parragiga termik ishlov berish rejimi parrakning devor qalinligi va qolip materialining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti asosida ishlab chiqilgan;

300X28H2JI markali cho‘yandan quyma usulda olingan nasos parragini qolip ichida sovutish texnologiyasi qolip materiali va quyma orasidagi issiqlik almashinuv koeffitsiyentining xaroratga bog‘liq ravishda o‘zgarish dinamikasi asosida ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:**

300X28H2JI markali cho‘yanning ferroqotishmalar bilan modifikatsiyalash texnologiyasi takomillashtirilgan;

yeyilishbardosh cho‘yan qotishmasiga issiqlik bilan ishlov berish rejimi optimallashtirilgan;

termik ishlov berish natijasida cho‘yanning mexanik xossalari oshirilgan;

Yuqori xromli yeyilishbardosh cho‘yan qotishmasining yeyilish bardoshlikka sinash natijalari tahlil qilingan;

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi aniq qo‘yilgan vazifa asosida ko‘plab o‘tkazilgan (5-7 ta) tadqiqotlar natijasida olingan mahsulotlarning mexanik, fizik va texnologik hossalarni o‘rganishda zamonaviy IK-spektroskopiya, fazalarni identifikatsiyasi hamda bir yoki bir nechta aniq tasvirlar hosil qilish va sirt xossalari aniqlashni skanerlovchi elektron mikroskop (SEM-Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss)) va (Empyrean Malvern Panalytical) intellektual difraktometri asosida o‘tkazilganligi, qotishmalarining mexanik xossalarni aniqlashda “P-50 M” rakamli avtotexnika mashinasi yordamida amalga oshirilishi, olingan namunaning qattiqligi metall va qotishmalarining qattiqligini o‘lchash uchun mo‘ljallangan (Dura Vision-20) usullari yordamida aniqlangan natijalar bilan taqqoslash orqali izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati yuqori dispersli karbid fazalarining shakllanish mexanizmlari va ularning mikroqattqlik hamda yeyilishga bardoshlilik ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi bog‘liqligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati yuqori xromli cho‘yanlarni modifikatsiyalashning samarali texnologik parametrlarini ishlab chiqish hamda sanoat sharoitida agressiv muhit va intensiv ishqalanishga bardoshli quymalarni olish imkoniyatini yaratishi bilan izohlanadi.

### **Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.**

300X28H2JI markali cho‘yanning yeyilishbardoshligi va yuza qattiqligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha olingan tadqiqot natijalar asosida:

GRAT nasosining parraklari quyma usulida olish uchun qo‘llaniladigan 300X28H2JI markali cho‘yanni molibden bilan modifikatsiyalash texnologiyasini “Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ “MTMZ” zavodining quyuv sexiga joriy qilingan (“Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ tomonidan berilgan 16.02.2024 dagi 02-24/01-0209-sonli ma’lumotnomasi). Joriy qilish natijasida diskning yeyilishbardoshligi 10-12% ga oshgan;

GRAT nasosining parragini quyma usulda olish texnologiyasini “Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ “MTMZ” zavodining quyuv sexiga joriy qilingan (“Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ tomonidan berilgan 16.02.2024 dagi 02-24/01-0209-sonli ma’lumotnomasi). Joriy qilish natijasida parrakning yuza qattiqligi 7-8% ga oshgan;

300X28H2JI markali cho‘yandan quyma usulda olingan nasosning parraklariga termik ishlov berish texnologiyasini “Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ “MTMZ” zavodining quyuv sexiga joriy qilingan (“Olmaliq kon metallurgiya kombinati” AJ tomonidan berilgan 16.02.2024 dagi 02-24/01-0209-sonli ma’lumotnomasi). Joriy qilish natijasida nasos parraklarining yeyilishbardoshligi 3-4% ga oshgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Dissertatsiya ishining tadqiqot natijalari jami 12 ta, 2 ta xalqaro miqyosida, 10 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o‘tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bilan bog‘liq bo‘lgan, umumiy holda 19 ta ilmiy materiallar nashr qilingan. O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta ilmiy maqola, jumladan 5 tasi respublika, 2 tasi xorijiy ilmiy va ilmiy-texnik jurnallarda nashr etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish qismi, to‘rtta bob, xulosa qismi, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati, shartli belgi va atamalar ro‘yxati hamda ilovalardan iborat bo‘lib, hajmi 120 betni tashkil etadi.

## **DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI**

**Kirish** qismida mavzuning dolzarbligi va ahamiyati asoslab berilgan, tadqiqot ishining maqsadi hamda vazifalari aniq belgilangan. Shuningdek, tadqiqotning obyekti va predmeti tavsiflab o‘tilgan, uning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatib berilgan. Ishda tadqiqot natijalarining ilmiy yangiligi, ularning nazariy asoslari hamda amaliy ahamiyati yoritilgan. Olingan ilmiy natijalar amaliyotda sinovdan o‘tkazilib, ishlab chiqarish jarayoniga joriy etilgan. Dissertatsiyada bajarilgan tadqiqotlar asosida chop etilgan ilmiy ishlar haqida ma’lumot keltirilgan hamda ishning tuzilishi va hajmi bayon qilingan.

Dissertatsiyaning **“Yuqori xromli cho‘yan qotishmasining yeyilish bardoshligini oshirish bo‘yicha ilmiy-tadqiqot ishlarining tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida mazkur yo‘nalish bo‘yicha adabiyotlar tahlil qilinib, 300X28H2JI markali cho‘yan qotishmasining kimyoviy tarkibi, fizik-mexanik xossalari hamda ularning sanoat tarmoqlarida qo‘llanilish sohalari o‘rganilgan.

Bobda yuqori xromli cho‘yan qotishmalarini molibden bilan modifikatsiyalash jarayonining metall mikrostrukturasi, karbid fazalarning shakllanishi va ularning yeyilishga bardoshlilikka ta’siri haqida dunyo olimlarining tadqiqot ishlari tahlil qilingan. Shuningdek, modifikatsiyalovchi elementlarning optimal miqdorini tanlash, ularni pechda kiritish harorati hamda modifikatsiya sifatiga ta’sir etuvchi texnologik omillar o‘rganilgan.

Adabiyotlarda yuqori xromli oq cho‘yanlar asosidagi qotishmalardan olinadigan yeyilishga bardoshli detallar (nasos g‘ildiraklari, maydalagich qismlari, ishqalanishga ishlovchi detallar) mashinasozlik va kon-metallurgiya sanoatida keng qo‘llanilayotgani, ularning xizmat muddatini uzaytirish uchun kimyoviy tarkibni optimallashtirish va yangi qotishma markalarini ishlab chiqish dolzarb masala ekanligi ko‘rsatib o‘tilgan.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, yuqori xromli cho‘yanlar yuqori qattqlik va aşinishga bardoshlilikka ega bo‘lsa-da, ularning texnologik oquvchanligi pastligi va sovish jarayonida yoriqlanish xavfi mavjud. Shu sababli quyma sifatini oshirish uchun modifikatsiyalash, termik ishlov berish, qolip aralashmalari tarkibini to‘g‘ri tanlash hamda optimal quyish tizimini loyihalash muhim hisoblanadi.

Adabiyotlarda, shuningdek, yuqori xromli cho‘yanlarni eritish jarayonida yuzaga keladigan ekologik muammolar — gaz chiqindilari, chang hosil bo‘lishi, shlak va metall yo‘qotishlar — hamda ularni kamaytirishning zamonaviy usullari (filtratsiya, issiqlikni qayta ishlatish, chiqindilarni qayta eritish) yoritib berilgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot ob’ektini tanlash va tadqiqot usullarini ishlab chiqish”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot obyekti, ishlatilgan materiallar, ularning fizik-mexanik xossalari va kimyoviy tarkibi keltirilgan. Shuningdek, ilmiy tadqiqot ishida qo‘llanilgan eksperimental usullar, sinov o‘tkazish sharoitlari va ishlatilgan asbob-uskunalar tavsiflab berilgan. Bobda olingan namunalarni tayyorlash, ularni modifikatsiyalash, termik ishlov berish va yeyilishbardoshlilikni aniqlash bo‘yicha qo‘llangan metodikalar ilmiy asoslangan tarzda bayon etilgan.

Tadqiqot ishining obyekti 300X28H2JI markali yuqori xromli yeyilishbardosh oq cho‘yan qotishmasidan quyib olinadigan yer osti suvlarini chiqarib olishda foydalaniladigan nasoslarning parrak detalidir. Ushbu detall Olmaliq kon-metallurgiya kombinati yer osti shaxtalarini qazish jarayonida yer ostidan sizib chiqadigan suvlarni tashqariga chiqarib olishda ishlatiladigan GRAT nasoslarining muhum vazifasini bajaruvchi detali hisoblanadi.

Quyma namunalarni tayyorlash jarayonida BF-TB2 rusumli induksion pechidan foydalanilib, eritma tarkibiga modifikatsiyalovchi element sifatida molibden qo‘shilgan. Tayyorlangan quyma namunalari MP-1C rusumli silliqlash va jilvirlash uskunasi ishlov berilib, ularning sirtlari metallografik tahlilga tayyorlangan.

Namunalarning kimyoviy tarkibi “SPEKTROLAB M9” spektrometri yordamida aniqlandi.

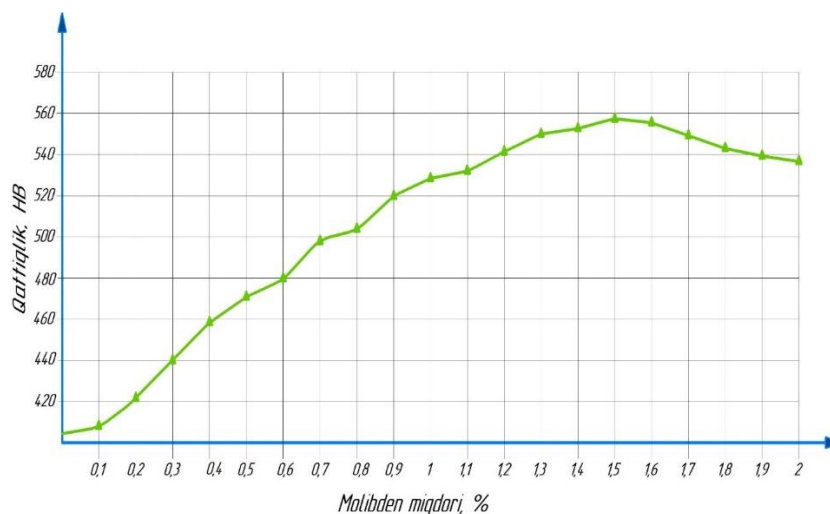
Qotishmaning mikrostrukturasi АЛЬТАМИ MET 6С metallografik mikroskopi yordamida o‘rganilib, karbid fazalarining shakli va taqsimoti tahlil qilindi. Shuningdek, fazaviy tahlil va sirt morfologiyasini o‘rganish maqsadida SEM–Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss) hamda Empyrean Malvern Panalytical skanerlovchi elektron mikroskoplaridan foydalanildi. Ushbu uskunalar yordamida namunalar sirtining mikrostruktura xususiyatlari, element tarkibi hamda fazaviy o‘zgarishlar chuqur tahlil qilindi.

Qotishmaning muhim xossalari, jumladan, qattqlik ko‘rsatkichlarini aniqlash uchun Dura Vision-20 rusumli sinov mashinasida tajribalar o‘tkazildi.

Ushbu kompleks yondashuv natijasida 300X28H2Л markali cho‘yan qotishmasining mikrostrukturasi, kimyoviy tarkibi, mexanik va yeyilishbardoshlik xossalari o‘zaro bog‘liqlikda aniqlanib, ilmiy asosda tahlil qilindi.

Dissertatsiyaning **“300X28H2Л markali oq cho‘yan qotishmasining yeyilishbardoshligini oshirish ustidagi tadqiqotlar”** deb nomlangan uchinchi bobida yuqori xromli oq cho‘yan qotishmalarining yeyilishga bardoshlilikini oshirish bo‘yicha ishlab chiqarish va laboratoriya tajribalari natijalari keltirilgan.

Tadqiqotlar davomida 300X28H2Л markali cho‘yan qotishmasiga turli miqdorda molibden (0,1–2%) qo‘shish orqali modifikatsiyalash tajribalari olib borildi.

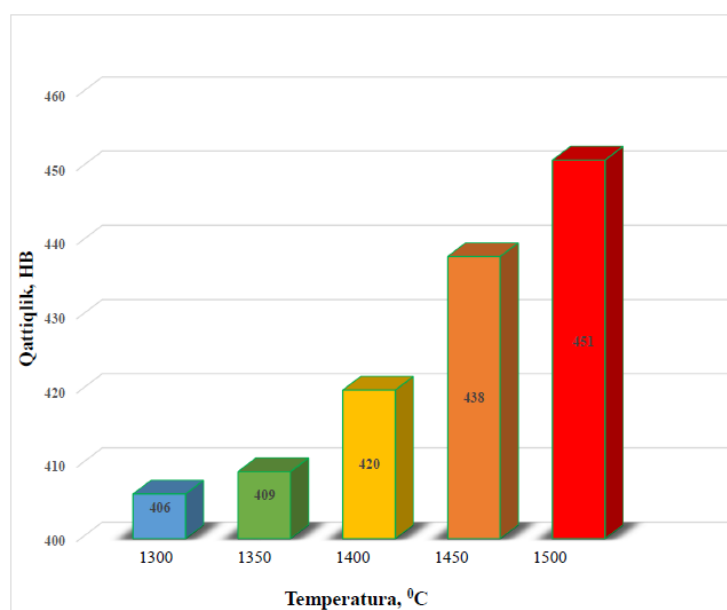


**1-rasm. Qotishma tarkibida molibden miqdori ortgan sari qattqlik oshib borish grafigi.**

Molibdenning kiritilish harorati va miqdoriga qarab qotishmaning mikrostrukturasi, karbid fazalarning taqsimlanishi hamda ularning morfologiyasi o‘rganildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, molibden qo‘shilishi evaziga qotishmada nozik tarqalgan  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbidlar hosil bo‘ladi, bu esa metall matritsaning qattqligini oshiradi va yeyilishbardoshlilikni sezilarli darajada yaxshilaydi.

**Qattiqlikni molibden qo‘shish haroratiga bog‘liqlik natijalari**

Molibdenni qo‘shish temperaturasi, °C	Qattiqlik, HB
1300	406
1350	409
1400	420
1450	438
1500	451



**2-rasm. Qattiqlikni molibden qo‘shish haroratiga bog‘liqlik natijalarining grafik ko‘rinishi.**

Modifikatsiyalangan 300X28H2JI cho‘yan namunalarining kimyoviy tarkibi “SPEKTROLAB M9” spektrometri yordamida aniqlanib, asosiy elementlar (C, Cr, Ni, Mo, Si, Mn) miqdori optimallashtirilgan diapazonda ekanligi tasdiqlandi.

**Yuqori xromli 300X28H2JI qotishmasi uchun TY-26-06-1484-87 bo‘yicha tavsiya etilgan optimal kimyoviy tarkib**

300X28H2JI qotishmasi	Elementlar,%							
	C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
TY-26-06-1484-87	2,5-3	0,08	0,12	0,5-1	25-30	0,7-1,4	1,5-3	qolgani

SPEKTROLAB M9 jixozida o‘tkazilgan tahlillar natijasida, tadqiq qilinayotgan quyma namunalarning kimyoviy tarkibi aniqlandi va bu ma’lumotlar keyingi

metallografik hamda mexanik tadqiqotlar uchun ishonchli boshlang'ich bazani ta'minlaydi. (3-jadval)

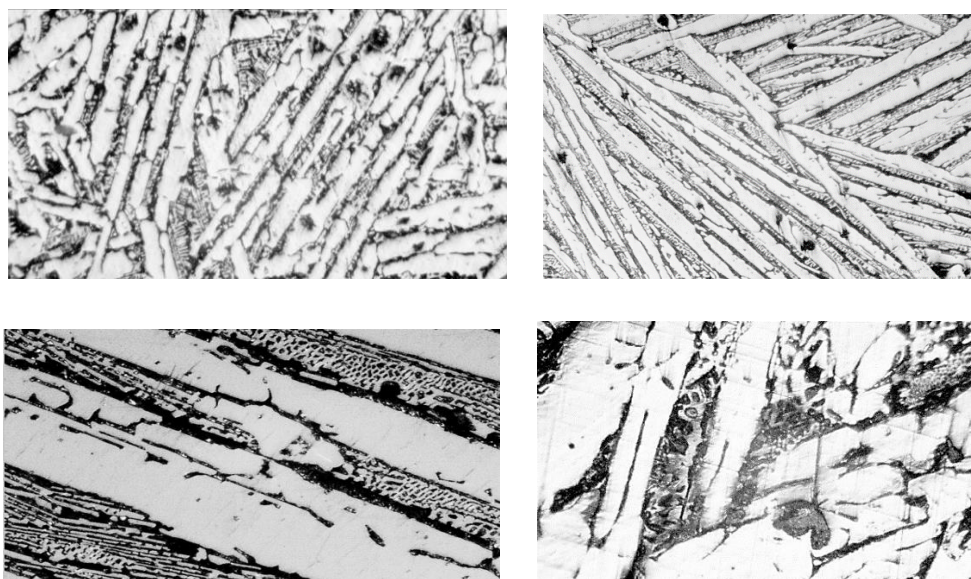
**3-jadval**

**Quyma namunalarning SPEKTROLAB M9 spektrometri yordamida aniqlangan kimyoviy tarkibi**

300X28H2Л qotishmasi	Elementlar,%						
	C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni
1-namuna	2,57	0,013	0,055	0,67	28,65	1,20	1,59
2-namuna	2,55	0,029	0,056	0,62	28,30	1,23	1,64
3-namuna	2,51	0,028	0,057	0,59	28,36	1,21	1,59

Qotishmaning mikrostrukturasi АЛЬТАМИ MET 6С metallografik mikroskopi hamda SЭМ–Zeiss EVO MA 10 elektron mikroskopida tahlil qilinib, modifikatsiyalash natijasida fazalar maydalanishi va bir jinslilik darajasi oshgani aniqlangan.

Tajriba davomida silliqланib va sayqallanib tayyorlangan namunalar mikroskop stolchasiga joylashtirilib, ularning sirlari 50× dan 1000× gacha kattalashtirishda o'rganildi. Natijada, qotishma tarkibidagi strukturaviy komponentlar — asosiy matritsa, grafit zarralari, karbid fazalari va boshqa mikroelementlar aniq tasvirlarda qayd etildi.



**3-rasm. АЛЬТАМИ MET 6С yordamida olingan tasvirlar**

Namunalarning yeyilishga bardoshlilikini aniqlash maqsadida ularning har biri maxsus “Olmos diskli yeyilish sinov qursilmasi”ga o'rnatilib, belgilangan sharoitda sinovdan o'tkazildi. Har bir sinov namunasi qurilmaga 3 daqiqa davomida joylashtirildi. Ushbu vaqt oralig'ida namunalar sirtiga ma'lum bosim va aylanish tezligida abraziv ta'sir ko'rsatilib, real ishqalanish sharoitlari modellashtirildi.



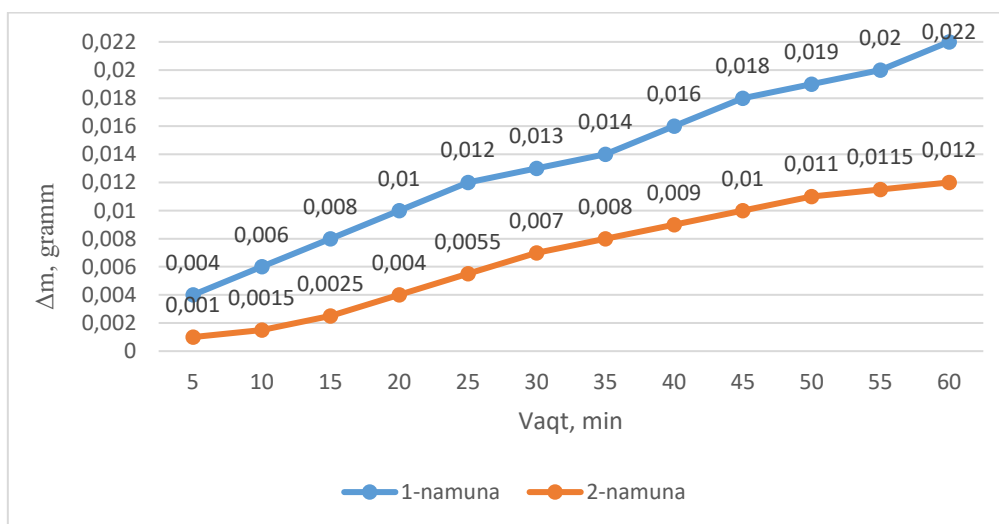
a)

b)

**4-rasm. a) Olmos diskli yeyilish sinov qursilmasining umumiy ko‘rinishi. b) yeyilishga sinash uchun tayyorlab olingan namunalar.**

Tadqiqotlar davomida yeyilishbardoshlik sinovlari ikki turdagi namunalar ustida olib borildi: birinchisi korxonadan olingan tayyor namunalar, ikkinchisi esa laboratoriya sharoitida molibden bilan modifikatsiyalangan namunalar. Sinov jarayonida har bir namuna bir xil sharoitda, standart sinov usullari asosida tekshirildi.

Olingan grafik natijalar shuni ko‘rsatadiki, modifikatsiyalangan namunalar korxonadan olingan asl namunaga nisbatan sezilarli darajada yaxshilangan yeyilishbardoshlikka ega. Bu esa molibden bilan modifikatsiyalash jarayonining qotishmaning strukturaviy va mexanik xossalariga ijobiy ta‘sir ko‘rsatganini isbotlaydi. Grafikda ko‘rinib turibdiki, modifikatsiyalangan namunalar yuqori yuklamalar ostida ham deformatsiyaga nisbatan bardoshliroq bo‘lib, qotishmaning xizmat muddatini uzaytirishga imkon beradi. (5-rasm)



**5-rasm. Qotishmaning yeyilishbardoshlikka taqqoslangan natijalarining grafigi**

Qotishmaning mexanik xossalarini yaxshilash maqsadida termik ishlov berish rejimlari (oldindan qizdirish, qizdirish harorati, ushlab turish va sovitish tezligi) takomillashtirildi. Optimal termik ishlov berish rejimida qotishma strukturasi teng taqsimlangan nozik karbid zarralari va qattiq matritsa shakllandi. Natijada metallning mikroqattiqligi 7–8% ga, yeyilishbardoshliligi esa 10–12% ga oshgani aniqlangan.

Termik ishlov berish jarayonlari Olmaliq kon-metallurgiya kombinati Rux zavodida joylashgan “SNOL 7,2/1100” markali mufel elektr pechida amalga oshirildi. Ushbu uskuna yuqori aniqlikda haroratni boshqarish imkoniyatiga ega bo‘lib, metall qotishmalarni turli bosqichlarda bosqichma-bosqich qizdirish va sovitish orqali ularning strukturaviy o‘zgarishlarini chuqur o‘rganishga sharoit yaratadi.

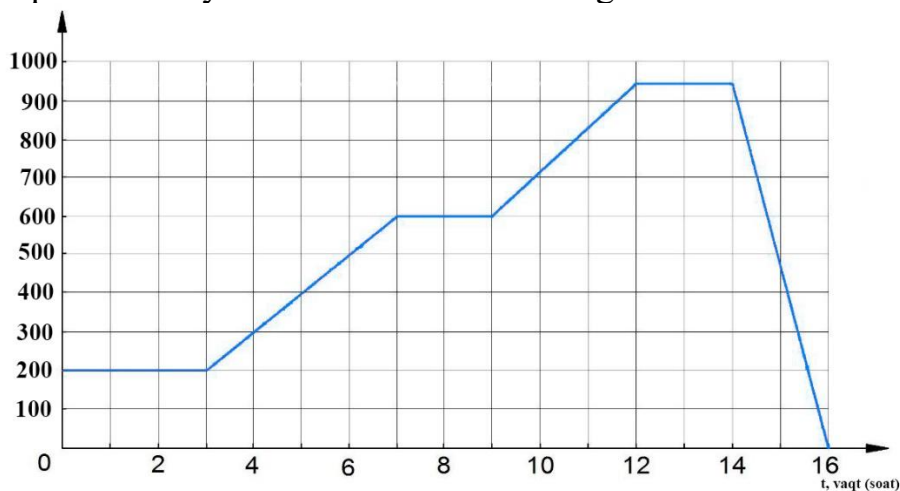
Tadqiqot jarayonida tayyorlangan namuna bosqichma-bosqich harorat oshirish rejimida termik ishlovdan o‘tkazildi. Dastlab, namuna 200 °C temperaturada 3 soat davomida izotermal holda ushlab turildi. Bu bosqichda qotishmadagi ichki kuchlanishlarni qisman chiqarish va strukturadagi mikroskopik poralarni barqarorlashtirish maqsad qilindi.

Shundan so‘ng harorat 4 soat davomida bosqichma-bosqich 600 °C gacha ko‘tarildi, har 15 daqiqada harorat 25 °C ga oshirilib borildi. Bu jarayon metall asosining bir xil qizishi va detal bo‘ylab issiqlikning tekis taqsimlanishini ta‘minladi. 600 °C haroratda 2 soatlik izotermal ushlab turish natijasida strukturadagi evtektoid va karbid fazalarning qayta taqsimlanishiga zamin yaratildi.

Keyinchalik harorat yana oshirilib, 920–950 °C gacha ko‘tarildi. Bu bosqichda ham har 15 daqiqada harorat 25 °C ga oshirilib, namunaning barcha qismlariga issiqlikning bir xil ta‘siri ta‘minlandi. Ushbu yuqori haroratda 2 soatlik izotermal ishlov amalga oshirildi. Bu bosqich metall asosidagi austenit strukturasi barqaror hosil bo‘lishiga va legirlovchi elementlarning bir xilda tarqalishiga xizmat qildi.

Termik ishlovning so‘nggi bosqichida namuna tabiiy havo muhitida sovutildi. Bu bosqichdagi tez sovutish metallning ichki strukturasi ayrim kuchlanishlarni keltirib chiqarishi mumkinligi sababli, qo‘shimcha bo‘shatish (stress-relief annealing) jarayoni amalga oshirildi. Ya‘ni, detal 230–250 °C temperaturada 2–3 soat davomida termik bo‘shatishga qo‘yildi.

Bu jarayonning asosiy maqsadi — tez sovutish natijasida yuzaga kelgan ichki termik kuchlanishlarni bartaraf etish, strukturani barqaror holga keltirish va metall asosining plastikligini oshirishdan iborat. Natijada, termik ishlov berilgan 300X28H2JI markali cho‘yan namunasida metall asosining mustahkamligi, ishqalanishga va yeyilishga bardoshlilik ko‘rsatkichlari sezilarli darajada oshdi, shu bilan birga, karbid fazalarining taqsimlanishi yaxshilandi va strukturadagi notekisliklar ancha kamaydi.



**6-rasm. 300X28H2JI markali cho‘yan asosidagi namunalar uchun termik ishlov berishning optimal me‘yori**

Termik ishlov berish jarayonining o'ziga xos me'yorlari va ularning afzalliklarini quyidagicha bayon etish mumkin:

Tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, qotishma strukturasi austenitni samarali ravishda parchalash uchun 920–960 °C harorat oralig'i optimal deb topildi. Bu harorat diapazonida austenitning barqarorligi pasayib, uning tuzilishidagi ichki kuchlanishlar kamayishi hisobiga strukturada faol o'zgarishlar sodir bo'ladi.

Olib borilgan ishlab chiqarish va laboratoriya tajribalari natijalari asosida 300X28H2J markali cho'yan qotishmasining yeyilishga bardoshlilikini oshirishning optimal texnologik parametrlari ishlab chiqildi. Taklif etilgan modifikatsiyalash va termik ishlov berish texnologiyasi arzon xomashyo asosida yuqori sifatli, ekspluatatsion ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan quyma detallar olish imkonini berdi.

O'tkazilgan tajriba va tahlillar natijalariga asoslanib, nasos parragi detali uchun tayyorlanadigan quymaning qolip konstruksiyasi har tomonlama takomillashtirildi. Xususan, quyish tizimi elementlari — metall quyish kanali, ustamalar hamda detaldagi ichki geometrik shakl va o'tish zonalarini qayta loyihalaniib, yanada optimal holga keltirildi.

Ushbu konstruktiv o'zgarishlar natijasida metallning qolipga kirishish jarayonida yuzaga keladigan nuqsonlar, shuningdek, sovish vaqtida paydo bo'ladigan issiq yorilarning oldi samarali ravishda olindi. Metall oqimining barqarorligini ta'minlash, hajmiy qisqarishlarni qoplash imkoniyati oshirilib, tayyor quymaning strukturaviy yaxlitligi sezilarli darajada yaxshilandi.

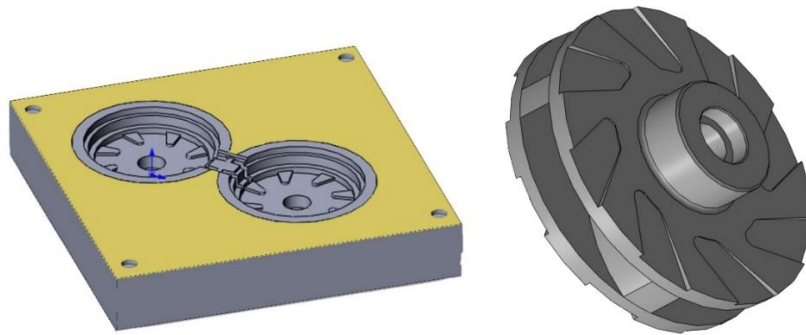
Olmalik kon-metallurgiya kombinati AJ "Markaziy ta'mirlash mexanika zavodi"ning Quyuv bo'limida nasos parragi detalining quymasini olish jarayoni bir martalik qum–gilli qolipdan foydalangan holda amalga oshirildi. Mazkur jarayonda mavjud quymakorlik chizmalari qayta ko'rib chiqilib, qolipning ayrim konstruktiv elementlariga hamda aralashma tarkibidagi komponentlarning foiz ulushiga texnologik o'zgartirishlar kiritildi. Natijada qolip konstruksiyasi takomillashtirilib, quyma sifatini oshirish uchun qulay sharoit yaratildi.

Qolip aralashmasining asosiy tarkibi sifatida foydalanilgan qo'shimchalar — ishlatilgan qum, yangi kvarts qumi, bog'lovchi sifatida qo'llanilgan gil turlari (bentonit, kaolinit) hamda ma'lum miqdordagi suvdan iborat bo'ldi. Ularning o'zaro to'g'ri nisbatda tanlanishi qolipning mustahkamligi, gaz o'tkazuvchanligi va shaklni aniq takrorlash xususiyatlarini ta'minladi.

#### 4-jadval

##### Qum – gilli qolipning optimal tarkibi

Ishlatilmagan kvarts qumi, %	Ishlatilgan qum, %	Bentonit gili, %	Suv, %	Kuyishga qarshi kukun, mm
20-23	60-65	5-7	4-5	1-2 (qolipning ichki yuzasiga)



**7-rasm. Qum-gilli qolip konstruksiyasi hamda tayyor detalning umumiy ko‘rinishi**

Takomillashtirilgan konstruktiv yechim asosida qolip bo‘shlig‘ining shakllanish sifati yanada yaxshilanib, quyish jarayonida metallning uzluksiz to‘lishi va ichki nuqsonlarning oldini olish imkoniyati oshirildi. Natijada yangilangan texnologik talablarga muvofiq ravishda tayyorlangan qoliplarga quyilib, nasos parragi detalining sifati va o‘lcham aniqligi yuqori bo‘lgan quymalari olindi.

Dissertatsiyaning **“300X28H2JI markali cho‘yandan yeyilish bardoshligi yuqori detallarni olish texnologiyasini ishlab chiqarishga joriy etish”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida 300X28H2JI markali oq cho‘yan qotishmasi asosida yeyilishga bardoshli detallarni olish texnologiyasini ishlab chiqarish sharoitlariga joriy etish — tadqiqotning yakuniy bosqichi hisoblanadi. Ushbu bosqichda laboratoriya sharoitida olingan ilmiy natijalar, texnologik rejimlar va modifikatsiyalash usullari ishlab chiqarish amaliyotiga moslashtirilib, ularning samaradorligi amalda sinovdan o‘tkazildi.

300X28H2JI markali oq cho‘yan qotishmasini modifikatsiyalash asosida yeyilishga bardoshli detallar ishlab chiqarish texnologiyasini amaliyotga joriy etish nafaqat texnik, balki iqtisodiy jihatdan ham sezilarli samara beradi. Quyida ishlab chiqarish hajmlari, tannarx va tejamkorlik bo‘yicha hisob-kitoblar keltiriladi.

Dastlabki sharoitda 300X28H2JI markali cho‘yanning tannarxi bir tonna uchun 30 587 990 so‘mni tashkil etadi. Korxonada ushbu cho‘yandan yiliga 804,4 tonna mahsulot ishlab chiqariladi. Shunga muvofiq holda yillik umumiy xarajat miqdori quyidagicha bo‘ladi:

$$804,4 \times 30587990 = 24604979156 \text{ so‘m}$$

Takomillashtirilgan texnologiya asosida cho‘yan tarkibiga 0,3% molibden elementi qo‘shish rejalashtirilgan. Mazkur modifikatsiya natijasida ishlab chiqarish hajmi  $804,4 + 0,3\% = 806,8$  tonna miqdorida belgilanadi. Molibden qo‘shilishi hisobiga qo‘shimcha xarajatlar  $2,4 \text{ tonna} \times 30\,587\,990 = 73\,411\,176$  so‘mni tashkil etadi.

Modifikatsiyalash jarayonidan so‘ng tayyorlanayotgan detallar tarkibida hosil bo‘ladigan martensit-karbid struktura tufayli ularning yeyilishga bardoshligi va xizmat muddati 7-8% ga oshadi. Shu sababli ishlab chiqarish jarayonida bir xil texnik samaradorlikni ta‘minlash uchun ishlab chiqariladigan mahsulot hajmini kamaytirish imkoniyati paydo bo‘ladi.

Bunda ishlab chiqarish hajmining kamayishi quyidagicha aniqlanadi:

$$804,4 - 7\% = 748 \text{ tonna}$$

Shunday qilib, yangi texnologiya joriy etilgandan so‘ng ishlab chiqarish hajmi 804,4 tonnadan 748 tonnaga kamaygan bo‘lsa-da, detallar sifati va xizmat muddati oshganligi tufayli korxonada uchun yillik xarajat tejalishi quyidagicha bo‘ladi:

$$(804,4-748)\times 30587990=1725162636 \text{ so‘m}$$

Shundan modifikatsiya uchun sarflangan qo‘shimcha xarajatlar (73 411 176 so‘m) ayirib tashlanganda, sof iqtisodiy foyda quyidagicha aniqlanadi:

$$1725162636-73411176=1651751460 \text{ so‘m}$$

Natijada, ishlab chiqarish jarayoniga modifikatsiyalangan 300X28H2JL markali oq cho‘yan texnologiyasini joriy etish orqali korxonada yiliga 1 milliard 651 million 751 ming 460 so‘m miqdorida iqtisodiy samara oladi.

## XULOSALAR

Mazkur tadqiqot ishida yuqori xromli oq cho‘yan qotishmalarining yeyilishga bardoshlilikini oshirishga qaratilgan texnologik yechimlar ishlab chiqildi. Ish davomida 300X28H2JL markali cho‘yan qotishmasi asosida olib borilgan tajribalar asosida quyidagi ilmiy va amaliy natijalarga erishildi:

1.300X28H2JL markali cho‘yanni molibden bilan modifikatsiyalash texnologiyasi ishlab chiqilgan. Bu mahsulot mexanik xossalarni oshirish imkonini beradi.

2.300X28H2JL markali cho‘yandan quyma usulda nasos parragini olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Bu cho‘yanning qolip ichida sovish tezligining yuzaning qattiqligiga ta‘sirini hisobga olgan holda optimallashtirish uchun xizmat qiladi.

3.300X28H2JL markali cho‘yandan quyma usulda olingan nasos parragiga termik ishlov berish rejimi ishlab chiqildi. Bu parrakning devor qalinligi va qolip materialining tanlash imkoniyatini beradi.

4.300X28H2JL markali cho‘yandan quyma usulda olingan nasos parragini qolip ichida sovutish texnologiyasi ishlab chiqildi. Bu qolip materiali va quyma o‘rtasidagi issiqlik almashinuvi koeffitsiyenti hisobga olingan holda optimallashtirish imkonini beradi.

5.Tajribalar natijasida 200–600 °C oralig‘ida bosqichma-bosqich qizdirish va ma‘lum muddat ushlab turish qotishmaning ichki kuchlanishlarini kamaytirib, karbid fazalarining optimal taqsimlanishini ta‘minlashi aniqlangan. Bu mexanik xossalarni yaxshilashda muhim omil bo‘lib xizmat qildi.

6.Olingan natijalar asosida ishlab chiqilgan texnologik jarayonlar mashinasozlik va kon-metallurgiya tarmoqlarida ishlatiladigan yeyilishga bardoshli detallarni ishlab chiqarish amaliyotiga tatbiq etilgan. Joriy etish natijasida ishlab chiqarish tannarxi pasayib, detallar xizmat muddati 1,3–1,5 barobarga oshgan.

7.Tajriba natijalari asosida ishlab chiqilgan texnologiyaning iqtisodiy samarasi hisoblangan. Natijalarga ko‘ra, detallarni almashtirish vaqtining kamayishi va material sarfining qisqarishi ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. 300X28H2JL markali cho‘yanni molibden bilan modifikatsiyalash natijasida quyib olingan quyma detallarning chidamliligi oshgani tufayli korxonada yiliga 1 651 751 460 so‘m miqdorda iqtisodiy samaradorlikka erishildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/2025.27.12.Т.02.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**АБДУЛЛАЕВ ФАРРУХЖОН КОМИЛЖОН УГЛИ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ  
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ ЧУГУНА  
МАРКИ 300X28H2Л**

**05.02.01 - Материаловедение в машиностроении. Литейное производство. Термическая  
обработка металлов давлением. Металлургия черных, цветных и редких металлов.  
(технология литейного производства и обработки металлов)**

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

**Ташкент – 2026**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за В2025.3.PhD/Т3900.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб – странице Научного совета по адресу ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно – образовательном портале «Ziyonet» по адресу ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Ташбулатов Шерзод Бахтиярович</b> Доктор технических наук, доцент
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Норхуджаев Файзулла Рамазанович</b> Доктор технических наук, профессор  <b>Алланазаров Акмал Абдулхакович</b> Доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Наманганский государственный технический университет</b>

Защита диссертации состоится «13» мая 2026 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.Т.02.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (998 71) 227-10-32; e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - №104). (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32.

Автореферат диссертации разослан «30» апрель 2026 года.  
(реестр протокола рассылки №215 от «29» апрель 2026 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, д.т.н  
(DSc), доцент

**Н.Д.Тураходжаев**  
Председатель научного семинара при  
Научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (реферат диссертации доктора философии)**

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется интенсификации термохимических и структурных процессов обработки высокохромистых чугуновых сплавов, внедрению ресурсосберегающих технологий и повышению качества продукции. В настоящее время в развитых странах США, Германии, Австралии, Китая и России широко используются методы модификации высокохромистых чугунов ультрадисперсными порошками и редкоземельными элементами, а также комплексного легирования. В этой связи особое внимание уделяется изучению условий микроструктурообразования при кристаллизации высокохромистых чугуновых сплавов, анализу локальных и централизованных зон распределения эвтектических и карбидных фаз, закономерностей трения и абразивного износа, а также устранению технологических ограничений (хрупкость и термические напряжения) с целью повышения прочности сплава и оптимизации ресурсопотребления.

Во всем мире проводятся научные исследования, направленные на значительное повышение износостойкости запасных частей для горнодобывающей техники, в частности, на модификацию высокохромистых чугунов ультрадисперсными порошками и редкоземельными элементами, то есть на введение наноразмерных порошков оксидов и нитридов в жидкий металл, что приводит к резкому разрушению структуры высокохромистого чугуна, обеспечению их равномерного распределения по всей структуре, повышению твердости и стабильности размеров, увеличению ударной вязкости, снижению внутренних напряжений и устранению риска растрескивания литых деталей. В этом направлении исследования считаются приоритетными, включая совершенствование технологии повышения износостойкости сплава путем добавления молибдена в качестве модификатора в состав высокохромистого чугуна. В то же время, актуальной задачей считается разработка и внедрение технологии литья путем определения механизма влияния химических соединений, образующихся при участии молибдена в составе чугуна, на структуру деталей, отливаемых из высокохромистого чугуна, степени влияния скорости охлаждения чугуна в форме на твердость поверхности, коэффициента теплопроводности материала формы, а также динамики изменения коэффициента теплообмена между материалом формы и отливкой в зависимости от температуры.

В нашей республике предпринимаются масштабные меры по проведению исследований и внедрению современных технологий производства запасных частей для горнодобывающей техники, основанных на энерго- и ресурсосберегающих технологиях и направленных на повышение производительности запасных частей. Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определяет, среди прочего, задачи «...внедрения производства горно-металлургической техники, оборудования и комплектующих на базе машиностроительных предприятий и расширения ассортимента продукции, повышения уровня локализации и организации

производства необходимого оборудования и комплектующих для них...»<sup>1</sup> При выполнении этих задач, в частности, в производстве запасных частей для горнодобывающей техники и оборудования, работающего в агрессивных средах, важно разрабатывать новые, современные и ресурсосберегающие технологии модификации и термообработки, включая добавление молибдена в качестве модификатора к высокохромистому чугуну, а также определять влияние модификаторов на морфологию карбидов в микроструктуре и распределение внутренних напряжений..

В Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 « О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы » , Постановлении № ПП-99 от 24 января 2022 года «О мерах по созданию эффективной системы развития производства и расширения промышленной кооперации в республике», а также проектах по созданию новых видов продукции и расширению действующих производственных мощностей в важных отраслях экономики в 2022 году в Приложении 2.1 к настоящему постановлению, и Постановлении № ПП-307 от 6 июля 2022 года «Об организационных мерах по реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022-2026 годы» и других нормативно-правовых документах, связанных с этой деятельностью.

**Исследования соответствуют приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с требованиями II приоритетного направления развития науки и технологий республики «Энергетика, энерго- и ресурсоэффективность».

**Уровень изученности проблемы.** Американские ученые Jeffrey A Hawk, Leander Thiele, KH Zum Gahr, A. Bedolla-Jacuinde, FV Guerra, AJ Guerrero-Pastran, MA Sierra-Cetina, S. Valdez-Medina , занимающие ведущие позиции в мировой металлургии и литейной промышленности, провели научные исследования взаимосвязи микроструктуры и износостойкости износостойких высокохромистых белых чугунов в зависимости от термической обработки, а также влияния добавки бора (до 1,197%) в высокохромистый белый чугун (содержащий 17% Cr, 3% C, 1% Ni и 1% Mo) на микроструктуру, твердость и абразивный износ. В результате добавки бора в сплав общее количество карбидов увеличилось с 27,1% до 53,84%, что позволило получить литое изделие с высокой износостойкостью. Немецкие учёные У. Пранав Наяк, Франк Маклих, Мария Агустина Гитар, Себастьян Ф. Фишер, Стефан Мушна, Маттиас Бунк исследовали влияние термической обработки износостойких белых чугунов на микроструктуру чугуна и его износостойкость. На основании результатов исследований оптимизированы параметры термической обработки и разработана технология улучшения механических свойств материала. Австралийские учёные Пурасиаби Лигван и Г.Д. Нельсон в своей научной работе исследовали получение и оценку высокоизносостойких деталей путём модификации износостойкого белого чугуна карбидом ниобия. Добавление NbC

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

приводит к образованию твёрдых карбидных частиц, равномерно распределённых в структуре металла. Это повышает твёрдость материала и улучшает износостойкость. С увеличением объёмной доли NbC твёрдость материала увеличивается с 724 HV до 812 HV. Согласно исследованию, было установлено, что добавление каждого 1% NbC приводит к увеличению твёрдости на 7,3 HV. Китайские ученые Сяохуэй Чжи, Цзяньдун Син, Иминь Гао, Хангуан Фу, Цзиюнь Пэн, Бин Сяо изучали влияние термической обработки на микроструктуру и механические свойства белого чугуна. В исследовании был проанализирован сплав состава Fe–17% Cr–4% C–1,5% Ti, а также изучены размер, распределение и объёмная доля карбидов  $M_7C_3$  и TiC во время термической обработки, а также образование мартенсита. Результаты показывают, что при низких температурах и коротком времени выдержки количество мелких вторичных карбидов размером менее 1 мкм увеличивалось. Использование низких температур выдержки и длительного времени выдержки, близкого к эвтектической температуре, позволило разработать технологию повышения износостойкости и твердости высокохромистого чугуна, модифицированного титаном.

В странах СНГ Российские учёные П. А. Молочков и А. С. Созикина рассмотрели совокупность факторов, влияющих на износостойкость белых чугунов. В их работах анализируются эксплуатационные условия, химический состав сплава, его структура, а также влияние режимов термической обработки. Особое внимание уделено действию легирующих элементов, таких как хром и ванадий, на свойства высокохромистых чугунов. Учёными разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать конечную микроструктуру и твёрдость высокохромистых чугунов. Эти модели основаны на термодинамических и кинетических принципах и применяются для выбора оптимальных режимов термической обработки. Белорусские исследователи Н. И. Урбанович, О. С. Комаров и И. Б. Проворова (БНТУ) изучили возможности использования молибдена в составе комплексного модификатора как катализирующей и модифицирующей добавки. В их анализ входило рассмотрение изменения свободной энергии Гиббса в зависимости от температуры, а также оценка взаимодействий компонентов молибденсодержащего катализатора с кремнием и углеродом в расплаве чугуна. Учёные пришли к выводу, что вместо бора, образующего при высоких температурах тугоплавкие карбиды и нитриды, можно использовать оксид молибдена, который является эффективным источником карбидообразования. Сформированные карбиды служат основой для зарождения графитовых кристаллов при плавке белого чугуна. Казахстанские учёные А. Паничкин, А. Ускенбаева, А. Кенжегулов и их коллеги также проводили исследования высокохромистых чугунов. Они вводили в расплав модифицирующие добавки — бор, молибден, висмут, олово и кальций в количестве 0,2 % — и изучали, как эти элементы и скорость охлаждения влияют на структуру и свойства сплава.

Узбекскими учеными А.А.Мухаммедовым, Ф.Р.Норхужаевым, Б.К.Тилабовым, А.А.Юсупходжаевым, С.Д.Нурмуродовым и другими

разработаны технологии улучшения структуры белого чугуна, создания оптимальных составов, повышения его прочности, внепечной обработки для повышения износостойкости.

В результате анализа данных стало ясно, что до сих пор не проводились исследования, определяющие механизм влияния химических соединений, образующихся при участии молибдена в составе чугуна, на структуру деталей, отлитых из высокохромистого чугуна, степень влияния скорости охлаждения чугуна в форме на твердость поверхности, теплопроводность материала формы, а также динамику изменения коэффициента теплообмена между материалом формы и отливкой в зависимости от температуры технологии охлаждения в форме.

**Связь диссертационного исследования с научно-исследовательскими планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена на основании хозяйственного договора № 63-7492 между Ташкентским государственным техническим университетом и АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», утверждённого 23 августа 2022 года.

**Цель исследования** Заключается в совершенствовании технологии повышения износостойкости и поверхностной твердости чугуна 300X28H2Л.

**Цели исследования:**

Анализ химического состава чугуна марки 300X28H2Л и определение химических соединений, образующихся в результате добавки элемента молибдена, их влияние на структурные (микроструктурные) изменения и определение оптимальных параметров количества и способа введения модифицирующего элемента.

Исследование механических свойств чугуна, модифицированного молибденом, и разработка технологии модифицирования на этой основе, анализ прочности, твердости и износостойкости сплава в результате влияния добавленного элемента.

Разработка технологии литья рабочих колес насосов из чугуна 300X28H2Л, определение и оптимизация уровня твердости, формируемой на поверхности в результате изменения скорости охлаждения в процессе литья.

Разработка режима термической обработки насосной лопасти и его практическая отработка. Это включает определение оптимальных стадий нагрева, выдержки и охлаждения с учетом толщины стенки и коэффициента теплопроводности материала формы, сравнение термообработанных и модифицированных образцов, а также оценку эффективности разработанных технологических решений.

**Объектом исследования** являлся чугун марки 300X28H2Л, который используется на заводе МТМЗ, входящем в состав предприятия АО «ОКМК».

**Предмет исследования.**

Предметом исследования является технология получения качественной структуры износостойких белых чугунов путём их модифицирования и оптимизации свойств образцов, изготовленных из данного материала.

### **Методы исследования.**

Для структурного анализа образцов использовался металлографический электронный микроскоп модели LV150N. Твёрдость исследуемых образцов определялась по методу Бринелля на приборе Dura Vision-20. Химический состав сплава анализировался с применением спектрофотометра СРЕКТРОМЕТР-М5000. Для оценки ударной вязкости использовался метод Шарпи. Предел прочности при растяжении определялся на универсальной статической испытательной машине. Износостойкость образцов оценивалась методом абразивного изнашивания с использованием горизонтального диска с алмазным покрытием.

### **Научная новизна исследования заключается в следующем:**

Разработана технология модифицирования чугуна марки 300X28H2Л молибденом, основанная на выявлении механизма влияния молибденосодержащих химических соединений на формирование структуры сплава.

Создана технология получения лопатки насоса методом литья из чугуна 300X28H2Л, основанная на определении степени влияния скорости охлаждения в форме на поверхностную твёрдость изделия.

Разработан режим термической обработки литой лопатки насоса из чугуна 300X28H2Л, учитывающий толщину стенок детали и коэффициент теплопроводности материала формы.

Разработана технология охлаждения литой лопатки насоса в форме, основанная на анализе динамики изменения коэффициента теплообмена между формой и отливкой в зависимости от температуры.

### **Практические результаты исследования следующие:**

Усовершенствована технология модифицирования чугуна 300X28H2Л ферросплавами;

Усовершенствован режим термической обработки чугуновых сплавов. В результате термической обработки повысились механические свойства чугуна;

Проанализированы результаты испытаний на износостойкость высокохромистого износостойкого чугунового сплава;

За счет повышения стойкости литых деталей в результате модифицирования чугуна 300X28H2Л молибденом на предприятии достигнут экономический эффект в размере 1 651 751 460 сум в год.

### **Достоверность результатов исследования.**

Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что поставленная задача была решена на основе проведения серии многократных экспериментов (5–7 исследований). При изучении механических, физических и технологических свойств полученных образцов использовались современные методы: ИК-спектроскопия, идентификация фаз, получение одного или нескольких высокоточных изображений и определение поверхностных свойств с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM — Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss)) и интеллектуального дифрактометра (Empyrean Malvern Panalytical).

Механические свойства сплавов определялись с использованием автомеханической испытательной машины марки «Р-50 М». Твёрдость образцов устанавливалась методами, реализованными на приборе Dura Vision-20, предназначенном для измерения твёрдости металлов и сплавов. Достоверность результатов подтверждена путем сопоставления полученных данных.

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

Научная значимость данной научно-исследовательской работы заключается в глубоком анализе факторов, влияющих на коррозионную стойкость высокохромистых белых чугуновых сплавов марки 300X28N2L. Впервые комплексно изучено влияние процесса модифицирования молибденом на состав, микроструктуру и фазовые превращения металла, определены оптимальные температура модифицирования и содержание элементов.

Получены также новые научные данные о механизме образования карбидных фаз в структуре сплава и их влиянии на механические свойства.

Практическая значимость исследования заключается в том, что разработанная технология модификации позволила получать высококачественные, коррозионно-стойкие чугуновые детали с использованием недорогого сырья и существующего печного оборудования. Внедрение полученной технологии в производство обеспечивает повышение качественных показателей литых изделий, увеличение срока их службы и снижение себестоимости продукции.

#### **Внедрение результатов исследования.**

На основе полученных результатов по совершенствованию технологии повышения износостойкости и поверхностной твёрдости высокохромистого чугуна марки 300X28N2L:

Технология модифицирования чугуна марки 300X28N2L молибденом, применяемая при производстве лопаток насоса типа GRAT методом литья, была внедрена в литейный цех завода «МТМЗ» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (согласно справке № 02-24/01-0209 от 16.02.2024 г., выданной АГМК). В результате внедрения износостойкость диска увеличилась на 10–12 %.

Технология получения лопатки насоса GRAT методом литья была внедрена в литейный цех завода «МТМЗ» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (согласно справке № 02-24/01-0209 от 16.02.2024 г.). В результате внедрения поверхностная твёрдость лопатки увеличилась на 7–8 %.

Технология термической обработки лопаток насоса, полученных литьём из чугуна марки 300X28N2L, была внедрена в литейный цех завода «МТМЗ» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (согласно справке № 02-24/01-0209 от 16.02.2024 г.). В результате внедрения износостойкость лопаток насоса повысилась на 3–4 %.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования диссертации обсуждались на 12 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и 10 республиканских.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 19 научных материалов. Опубликовано 7 научных статей в научных изданиях, рекомендованных к публикации Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, в том числе 5 в республиканских и 2 в зарубежных научных и научно-технических журналах.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, списка символов и терминов, а также приложений. Объём диссертации составляет 120 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В вводной** части обосновывается актуальность и важность темы, четко определяются цели и задачи научно-исследовательской работы. Описываются объект и предмет исследования, указывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики. В работе подчеркивается научная новизна результатов исследования, их теоретическая обоснованность и практическая значимость. Полученные научные результаты проверены на практике и внедрены в производство. В диссертации приведены сведения о научных работах, опубликованных по результатам проведенного исследования, а также описываются структура и объём работы.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Анализ научно-исследовательских работ по повышению износостойкости высокохромистого чугуна»** проанализирована литература по данной теме, изучены химический состав, физико-механические свойства чугуна марки 300X28H2Л, области их применения в отраслях промышленности.

В главе проанализированы исследования мировых учёных по микроструктуре металла, образованию карбидных фаз и их влиянию на износостойкость высокохромистых чугунных сплавов с молибденом. Также рассмотрены вопросы выбора оптимального количества модифицирующих элементов, температуры их введения в печь, а также технологические факторы, влияющие на качество модифицирования.

В литературе отмечается, что износостойкие детали из сплавов на основе высокохромистых белых чугунов (колеса насосов, детали дробилок, детали трения) широко применяются в машиностроении и горно-металлургической промышленности, а оптимизация химического состава и разработка новых марок сплавов для повышения срока их службы является актуальной задачей.

Анализ показывает, что высокохромистые чугуны, несмотря на высокую твёрдость и износостойкость, обладают низкой технологической текучестью и склонны к растрескиванию при охлаждении. Поэтому для повышения качества отливок важны модифицирование, термическая обработка, правильный выбор состава литейной формы и оптимальная конструкция литейной системы.

В литературе также освещаются экологические проблемы, возникающие при выплавке высокохромистых чугунов, — выбросы газов, пылеобразование,

потери шлака и металла, — и современные методы их снижения (фильтрация, рекуперация тепла, переплавка отходов).

Во второй главе диссертации **«Выбор объекта исследования и разработка методов исследования»**, представлены объект исследования, используемые материалы, их физико-механические свойства и химический состав. Описаны экспериментальные методы, использованные в научно-исследовательской работе, условия испытаний и используемое оборудование. В главе научно обоснованно описаны методы подготовки полученных образцов, их модификации, термической обработки и определения коррозионной стойкости.

Объектом исследования является полированная деталь насосов для откачки грунтовых вод, отлитая из высокохромистого износостойкого белого чугуна марки 300X28H2Л. Данная деталь является важной частью насосов типа ГРАТ, используемых для откачки грунтовых вод при проходке подземных рудников Алмалыкского горно-металлургического комбината.

При изготовлении литых образцов использовалась индукционная печь БФ-ТБ2, в раствор в качестве модифицирующего элемента вводился молибден. Полученные литые образцы обрабатывались на шлифовально-полировальном станке МП-1С, а их поверхности подготавливались к металлографическому анализу. Химический состав образцов определялся на спектрометре «СПЕКТРОЛАБ М9».

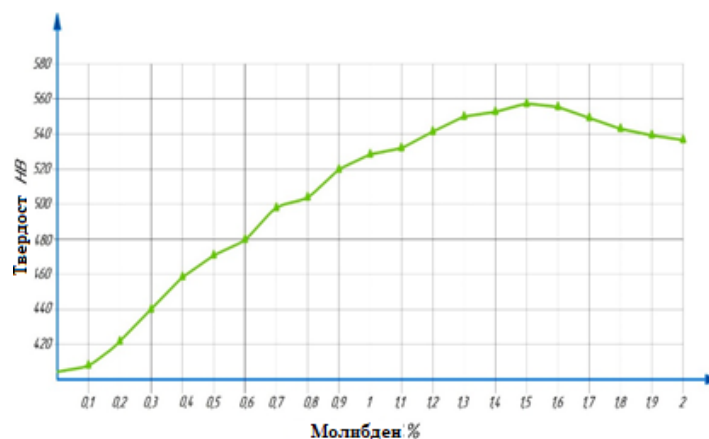
Микроструктуру сплава изучали на металлографическом микроскопе Altami MET 6С, анализировали форму и распределение карбидных фаз. Для исследования фазового состава и морфологии поверхности использовали сканирующие электронные микроскопы SEM–Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss) и Empyrean Malvern Panalytical. С помощью этих приборов проведен детальный анализ микроструктурных особенностей, элементного состава и фазовых превращений на поверхности образцов.

Для определения важных свойств сплава, включая твердость, были проведены эксперименты на электрическом твердомере Булови, модель: HBRV-187.5F.

В результате комплексного подхода определены во взаимосвязи и на научной основе проанализированы микроструктура, химический состав, механические и износостойкие свойства чугуна сплава 300X28H2Л.

В третьей главе диссертации **«Исследования по повышению износостойкости белого чугуна марки 300X28H2Л»** представлены результаты производственных и лабораторных экспериментов по повышению коррозионной стойкости высокохромистых легированных белых чугунов.

В ходе исследований были проведены эксперименты по модификации путем добавления в сплав чугуна 300X28H2Л различного количества молибдена (0,1–2%).



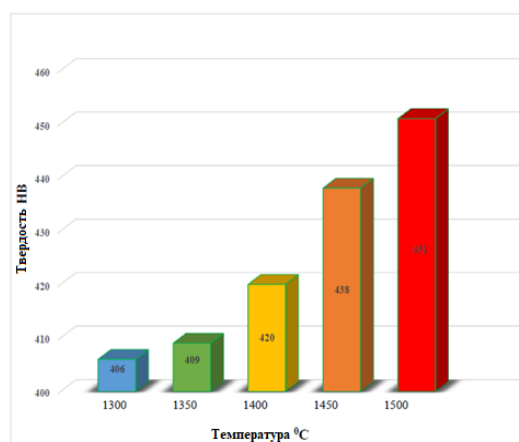
**Рисунок 1. График увеличения твердости по мере увеличения содержания молибдена в сплаве.**

Изучены микроструктура сплава, распределение карбидных фаз и их морфология в зависимости от температуры и количества добавки молибдена. Результаты показали, что добавление молибдена приводит к образованию в сплаве мелкодисперсных карбидов  $(Cr,Fe)_7C_3$ , что повышает твёрдость металлической матрицы и значительно улучшает износостойкость.

**Таблица 1**

**Результаты зависимости твердости от температуры добавления молибдена**

Температура добавления молибдена, °С	Твердость, НВ
1300	406
1350	409
1400	420
1450	438
1500	451



**Рисунок 2. Графическое изображение результатов зависимости твердости от температуры добавления молибдена.**

Химический состав модифицированных образцов чугуна 300X28H2Л определялся с помощью спектрометра «СПЕКТРОЛАБ М9» и подтверждалось, что содержание основных элементов (С, Cr, Ni, Mo, Si, Mn) находится в пределах оптимизированного диапазона.

**Таблица 2**

**Оптимальный химический состав, рекомендуемый по ТУ-26-06-1484-87 для высокохромистого сплава 300X28H2Л**

300X28H2Л	Элементы, %							
	С	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
ТУ-26-06-1484-87	2,5-3	0,08	0,12	0,5-1	25-30	0,7-1,4	1,5-3	остальные

В результате проведенных анализов на приборе СПЕКТРОЛАБ М9 определен химический состав исследуемых литых образцов, и эти данные представляют собой надежную исходную базу для дальнейших металлографических и механических исследований. (Таблица 3)

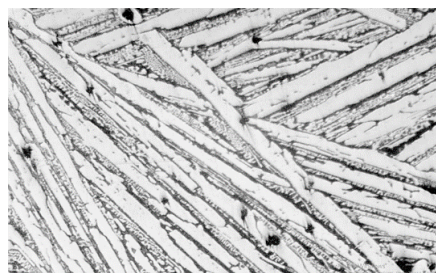
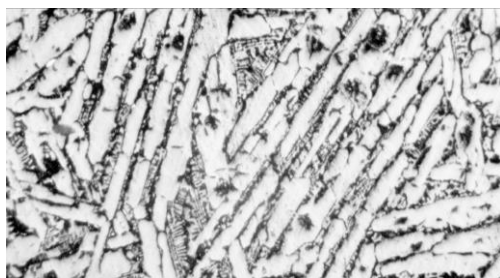
**Таблица 3**

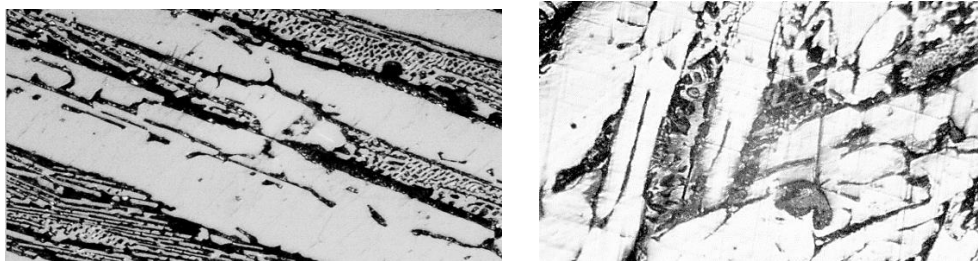
**Химический состав объемных проб, определенный с помощью спектрометра СПЕКТРОЛАБ М9**

Сплав 300X28H2Л	Элементы, %						
	С	S	P	Mn	Cr	Si	Ni
Образец 1	2.57	0,013	0,055	0,67	28.65	1.20	1.59
Образец 2	2.55	0,029	0,056	0,62	28.30	1.23	1.64
Образец 3	2.51	0,028	0,057	0,59	28.36	1.21	1.59

Микроструктуру сплава анализировали с помощью металлографического микроскопа Altami MET 6С и электронного микроскопа SEM–Zeiss EVO MA 10, и было установлено, что модификация привела к измельчению фаз и повышению однородности.

В ходе эксперимента подготовленные образцы, отшлифованные и отполированные, помещали на предметный столик микроскопа и изучали их поверхность при увеличениях от 50× до 1000×. В результате были зафиксированы на чётких изображениях структурные составляющие сплава: основная матрица, частицы графита, карбидные фазы и другие микроэлементы.





**Рисунок 3. Снимки, сделанные с помощью Altami MET 6C**

Для определения износостойкости образцов каждый из них устанавливался на специальный стенд «Diamond Disc Wear Tester» и испытывался в заданных условиях. Каждый испытуемый образец помещался в прибор на 3 минуты. В течение этого времени поверхность образцов подвергалась абразивному воздействию при определённом давлении и скорости вращения, имитирующих реальные условия трения.



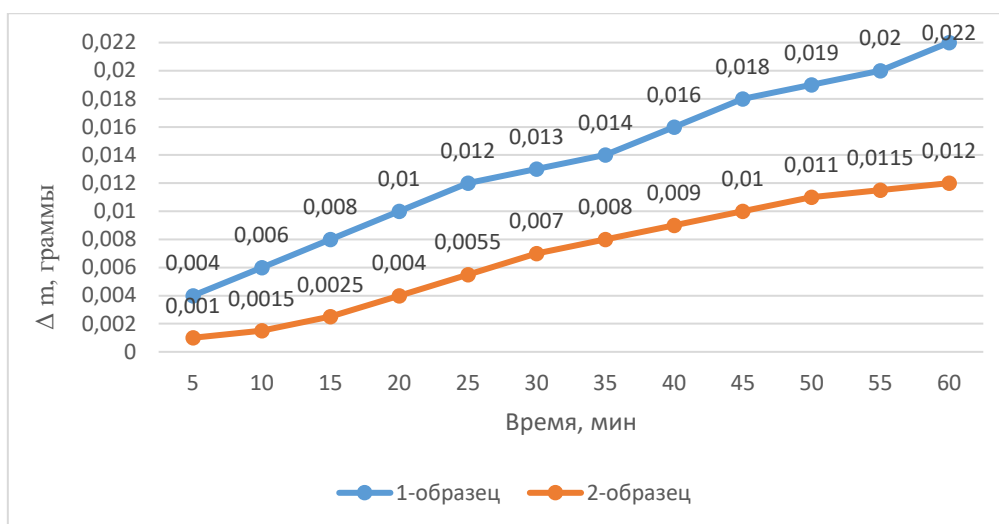
а)

б)

**Рисунок 4. а) Общий вид установки для испытания на абразивный износ алмазного диска. б) Образцы, подготовленные для испытания на абразивный износ.**

В ходе исследований были проведены испытания на коррозионную стойкость двух типов образцов: первый – готовые образцы, полученные с предприятия, и второй – образцы, модифицированные молибденом в лабораторных условиях. В процессе испытаний каждый образец испытывался в одинаковых условиях, согласно стандартным методикам испытаний.

Полученные графические результаты показывают, что модифицированные образцы обладают значительно улучшенной износостойкостью по сравнению с исходным образцом, полученным на предприятии. Это свидетельствует о положительном влиянии процесса модифицирования молибденом на структурно-механические свойства сплава. Как видно из графика, модифицированные образцы более устойчивы к деформации даже при высоких нагрузках, что позволяет увеличить срок службы сплава. (Рисунок 5)



**Рисунок 5. График результатов сравнения износостойкости сплавов**

Для повышения механических свойств сплава оптимизированы режимы термической обработки (предварительный подогрев, температура нагрева, выдержка и скорость охлаждения). При оптимальном режиме термической обработки в структуре сплава формируются равномерно распределенные мелкодисперсные карбидные частицы и твердая матрица. В результате установлено, что микротвердость металла повышается на 7–8%, а износостойкость – на 10–12%.

Процессы термической обработки проводились в муфельной электропечи «СНОЛ 7,2/1100», расположенной на цинковом заводе Алмалыкского горно-металлургического комбината. Данное оборудование позволяет осуществлять высокоточное регулирование температуры, что создает условия для глубокого изучения структурных изменений в металлических сплавах путем их постепенного нагрева и охлаждения на разных стадиях.

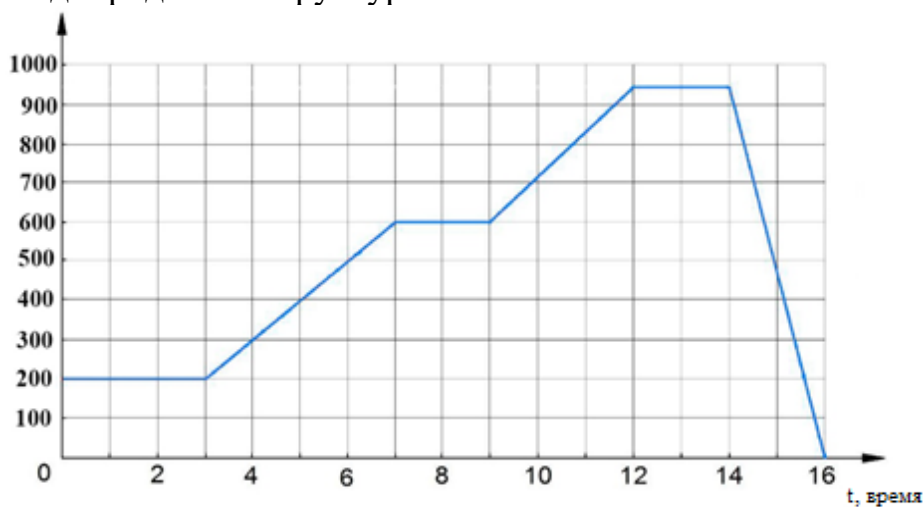
Подготовленный в процессе исследования образец был подвергнут термической обработке в режиме ступенчатого повышения температуры. Первоначально образец выдерживался изотермически при температуре 200 °С в течение 3 часов. На этом этапе преследовалась цель частичного снятия внутренних напряжений в сплаве и стабилизации микропор в структуре.

Затем температуру плавно повышали до 600 °С в течение 4 часов, увеличивая её на 25 °С каждые 15 минут. Это обеспечивало равномерный прогрев металлической основы и равномерное распределение тепла по всему объёму детали. В результате двухчасовой изотермической выдержки при 600 °С произошло перераспределение эвтектоидных и карбидных фаз в структуре.

Затем температуру снова повышали до 920–950 °С. На этом этапе температуру также повышали на 25 °С каждые 15 минут для обеспечения равномерного теплового воздействия на все участки образца. При этой высокой температуре проводилась изотермическая выдержка в течение 2 часов. Этот этап обеспечивал стабильное формирование аустенитной структуры в металле и равномерное распределение легирующих элементов.

На заключительном этапе термической обработки образец охлаждался на воздухе. Поскольку быстрое охлаждение на этом этапе могло привести к появлению напряжений во внутренней структуре металла, был проведен дополнительный отжиг для снятия напряжений, то есть деталь подвергалась термическому отжигу при температуре 230–250 °С в течение 2–3 часов.

Основной целью данного процесса является устранение внутренних термических напряжений, возникающих при быстром охлаждении, стабилизация структуры и повышение пластичности металлической основы. В результате значительно повышаются прочность, абразивная стойкость и износостойкость металлической основы термообработанного образца из чугуна 300X28H2Л, улучшается распределение карбидных фаз и существенно снижается неоднородность структуры.



**Рисунок 6. Оптимальная скорость термообработки образцов на основе чугуна марки 300X28H2Л**

Конкретные стандарты процесса термообработки и их преимущества можно описать следующим образом:

Результаты исследований показали, что оптимальный температурный интервал эффективного распада аустенита в структуре сплава составляет 920–960 °С. В этом температурном интервале снижается устойчивость аустенита и происходят активные структурные изменения, обусловленные снижением внутренних напряжений в его структуре.

На основании результатов проведенных производственных и лабораторных экспериментов определен состав литейного чугуна марки 300X28H2Л. Разработаны оптимальные технологические параметры повышения износостойкости сплава. Предложенная модификация и технология термической обработки позволили получить качественные литые детали с высокими эксплуатационными показателями на основе недорогого сырья.

По результатам экспериментов и анализов конструкция формы для отливки детали рабочего колеса насоса была комплексно усовершенствована. В частности, были переработаны и оптимизированы элементы литейной системы: канал заливки металла, выступы, а также внутренняя геометрическая форма и переходные зоны в детали.

Эти конструктивные изменения позволили эффективно предотвратить дефекты, возникающие в процессе впрыскивания металла, а также горячие трещины, возникающие при охлаждении. Это позволило обеспечить стабильность течения металла, компенсировать объемную усадку и значительно повысить структурную целостность готовой отливки.

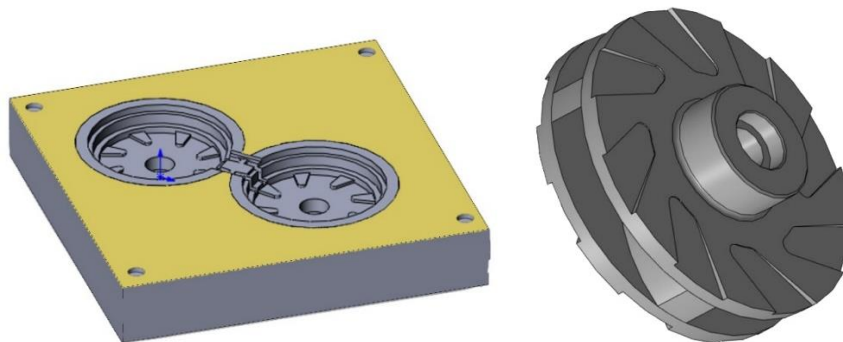
В литейном отделении АО «Центральный ремонтно-механический завод» Алмалыкского горно-металлургического комбината проведено литье детали рабочего колеса насоса в одноразовую песчано-глинистую форму. При этом были пересмотрены существующие чертежи отливок, внесены технологические изменения в некоторые конструктивные элементы формы и процентное содержание компонентов в смеси. В результате усовершенствована конструкция формы, что создало благоприятные условия для повышения качества отливки.

Основными компонентами формовочной смеси служили песок, кварцевый песок, глины (бентонит, каолинит), используемые в качестве связующих, и определенное количество воды. Их подбор в правильном соотношении обеспечивал прочность, газопроницаемость и точное воспроизведение формы.

**Таблица 4**

**Оптимальный состав песчано-глинистой формы**

Неиспользованный кварцевый песок , %	Использованный песок , %	Бентонитовая глина, %	Вода , %	Противоожоговый порошок, мм
20-23	60 -65	5-7	4-5	1-2 (к внутренней поверхности формы)



**Рисунок 7. Общий вид конструкции песчано-глинистой формы и готовой детали**

Благодаря усовершенствованному конструктивному решению дополнительно улучшено качество формирования полости формы, увеличена возможность непрерывного заполнения металлом и предотвращения внутренних дефектов в процессе литья. В результате получены отливки деталей рабочих колес насосов с высоким качеством и размерной точностью путем заливки в формы, подготовленные в соответствии с обновленными технологическими требованиями.

В четвёртой главе диссертации, под названием «Внедрение в производство технологии получения износостойких деталей из чугуна марки 300X28H2Л» рассматривается внедрение технологии получения износостойких деталей на основе легированного белого чугуна марки 300X28H2Л в производственные условия – завершающий этап исследований. На данном этапе научные результаты, технологические режимы и методы модифицирования, полученные в лабораторных условиях, были адаптированы к производственной практике, а также проведена практическая проверка их эффективности.

Внедрение технологии производства износостойких деталей на основе модифицирования белого чугуна марки 300X28H2Л позволит получить существенные преимущества не только в техническом, но и в экономическом плане. Ниже приведены расчеты объемов производства, затрат и экономии.

Первоначальная стоимость чугуна марки 300X28H2Л составляет 30 587 990 сумов за тонну. Предприятие выпускает 804,4 тонны продукции из этого чугуна в год. Соответственно, общая годовая себестоимость составит:

$$804,4 \times 30587990 = 24604979156 \text{ сумов}$$

По усовершенствованной технологии в состав чугуна планируется ввести 0,3% молибдена. В результате данной модификации объём производства составит  $804,4 + 0,3\% = 806,8$  тонн. Дополнительные затраты за счёт введения молибдена составят  $2,4 \text{ тонны} \times 30\,587\,990 = 73\,411\,176$  сумов.

Благодаря сформированной в деталях после модифицирования мартенситно-карбидной структуре их износостойкость и срок службы увеличиваются на 7-8%. Это позволяет сократить объём выпускаемой продукции при сохранении технологической эффективности производства.

В этом случае снижение объёма производства определяется следующим образом:

$$804,4 - 7\% = 748 \text{ тонн}$$

Таким образом, хотя объём производства после внедрения новой технологии снизился с 804,4 тонны до 748 тонн, годовая экономия средств предприятия за счет повышения качества и срока службы деталей составит:

$$(804,4 - 748) \times 30587990 = 1725162636 \text{ сумов}$$

После вычета дополнительных затрат на модификацию (73 411 176 сумов) чистый экономический эффект определяется следующим образом:

$$1725162636 - 73411176 = 1651751460 \text{ сумов}$$

В результате внедрения в производство модифицированной технологии белого чугуна 300X28H2Л предприятие получит экономический эффект в размере 1 млрд 651 млн 751 тыс. 460 сумов в год.

## ВЫВОДЫ

В данной научно-исследовательской работе разработаны технологические решения по повышению износостойкости высокохромистых белых чугуновых сплавов. В ходе работы на основе экспериментов, проведенных на чугуне марки 300X28H2Л, получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработана технология модифицирования чугуна марки 300X28H2Л молибденом. Данная технология позволяет повысить механические свойства материала.

2. Разработана технология получения методом литья рабочего колеса насоса из чугуна марки 300X28H2Л. Она служит для оптимизации с учётом влияния скорости охлаждения в форме на твёрдость поверхности.

3. Разработан режим термической обработки рабочего колеса насоса, полученного методом литья из чугуна марки 300X28H2Л. Это позволяет учитывать толщину стенки и выбирать материал формы.

4. Разработана технология охлаждения в форме рабочего колеса насоса, полученного методом литья из чугуна марки 300X28H2Л. Она обеспечивает возможность оптимизации с учётом коэффициента теплообмена между формой и отливкой.

5. В результате экспериментов установлено, что поэтапный нагрев в интервале 200–600 °С с выдержкой в течение определённого времени снижает внутренние напряжения сплава и обеспечивает оптимальное распределение карбидных фаз. Это является важным фактором повышения механических свойств.

6. На основе полученных результатов разработанные технологические процессы внедрены в практику производства износостойких деталей, используемых в машиностроении и горно-металлургической отрасли. В результате внедрения себестоимость производства снизилась, а срок службы деталей увеличился в 1,3–1,5 раза.

7. Рассчитан экономический эффект разработанной технологии на основе экспериментальных результатов. Согласно расчётам, снижение частоты замены деталей и уменьшение расхода материалов значительно повышают эффективность производства. В результате модифицирования чугуна марки 300X28H2Л молибденом стойкость литых деталей увеличилась, что позволило предприятию достичь годового экономического эффекта в размере 1 651 751 460 сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/2025.27.12.T.02.04 ON AWARDING THE  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**ABDULLAEV FARRUKHJON KOMILJON UGLI**

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR INCREASING THE WEAR  
RESISTANCE AND SURFACE HARDNESS OF 300X28H2J GRADE CAST  
IRON**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry engineering. Heat treatment  
and pressure processing of metals. Ferrous, non-ferrous, and rare metals metallurgy.  
(Technology of foundry production and metal processing)**

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

**Tashkent – 2026**

**The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.3.PhD/T3900**

The dissertation made in the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the website ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) and on the website of “ZiyoNet” information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz))

**Scientific supervisor:** **Tashbulatov Sherzod Bakhtiyarovich**  
**Doctor of technical sciences, Associate Professor**

**Official opponents:** **Norkhudzhaev Fayzulla Ramazanovich**  
**Doctor of technical sciences, professor**

**Allanazarov Akmal Abdulkhaqovich**  
**Doctor of philosophy technical sciences (PhD),**  
**associate professor**

**Leading organization** **Namangan State Technical University**

The defense will take place «13» may 2026 y at 14<sup>00</sup> hours at the meeting of Scientific Council № DSc.03/2025.27.12.T.02.04 under the Tashkent State Technical University. (Address: 100095, Tashkent, st. University 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tadqiqotchi@tdtu/uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu/uz))

The dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of the Tashkent State Technical University (registration number № 104). (Address: 100095, Tashkent, st. University 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32

The abstract of dissertation sent out on «30» april 2026 y.  
(mealing report №215 on «29» april 2026 y).

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

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

**N.D.Turakhodjaev**  
Chairman of scientific council seminar at the  
scientific council for awarding degree,  
doctor of technical sciences, professor

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

**Relevance and necessity of the dissertation.** In global practice, ensuring the mechanical properties of wear-resistant parts made of high-chromium cast iron alloys in mechanical engineering, mining, metallurgy, and energy is of particular importance. One of the key challenges is that high-chromium cast iron parts, operating under conditions of severe abrasive, erosive, and impact loads, must possess high hardness, resistance to mechanical and thermal loads, and a long service life. Therefore, extensive scientific research is being conducted in developed metallurgical countries to produce high-quality castings from high-chromium cast iron. Research projects in the USA, Germany, Australia, China, Russia, and other countries place particular emphasis on improving the technology for increasing the wear resistance and surface hardness of parts cast from high-chromium cast iron.

Extensive research and development work is underway worldwide to improve technologies aimed at increasing the wear resistance of parts cast from high-chromium cast irons. In this area, particularly significant is the refinement of technology for enhancing alloy wear resistance by introducing molybdenum into high-chromium cast iron as a modifier, as well as the development of heat treatment regimes that ensure the desired mechanical properties of manufactured parts.

In our country, alongside improving the mechanical and performance properties of high-chromium cast iron alloy products, effective measures are being consistently implemented to rationally use resources and reduce energy consumption during production. Specifically, extensive research is being conducted to study the effect of modifying additives on the composition of 300X28H2J cast iron and to develop energy-saving technologies through efficient heat treatment. The development strategy for New Uzbekistan sets the goal of "expanding the range of value-added products through the advanced processing of rare metals." In this area, it is important to conduct scientific research on the development and improvement of progressive and cost-effective technologies that serve to increase the strength and performance properties of parts made of high-chromium cast iron alloys, which are widely used in manufacturing plants, the mining industry, and underground mines.

in the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated January 28, 2022 No. PF-60 "On the Development Strategy of the New Uzbekistan for 2022-2026", Resolution No. PP-99 dated January 24, 2022 "On measures to create an effective system for the development of production and expansion of industrial cooperation in the republic", as well as projects to create new types of products and expand existing production capacities in important sectors of the economy in 2022 in Appendix 2.1 to this resolution, and Resolution No. PP-307 dated July 6, 2022 "On organizational measures for the implementation of the Innovative Development Strategy of the Republic of Uzbekistan for 2022-2026" and other regulatory and legal documents related to this activity.

**The research is in line with the priority areas of science and technology development in the republic.** This study was carried out in accordance with the

requirements of the second priority direction of development of science and technology of the republic “Energy, energy and resource efficiency”.

**Level of study of the problem.** American scientists Jeffrey A. Hawk, Leander Thiele, KH Zum Gahr, A. Bedolla-Jacuinde, FV Guerra, AJ Guerrero-Pastran, MA Sierra-Cetina, S. Valdez-Medina, occupying leading positions in the global metallurgy and foundry industry, conducted scientific research on the relationship between the microstructure and wear resistance of wear-resistant high-chromium white cast irons depending on heat treatment, as well as the effect of boron addition (up to 1.197%) to high-chromium white cast iron (containing 17% Cr, 3% C, 1% Ni and 1% Mo) on the microstructure, hardness and abrasive wear. As a result of the boron addition to the alloy, the total amount of carbides increased from 27.1% to 53.84%, which made it possible to obtain a cast product with high wear resistance. German scientists W. Pranav Nayak, Frank Macklich, Maria Agustina Guitar, Sebastian F. Fischer, Stefan Muschna, and Matthias Bunk studied the effect of heat treatment on the microstructure and wear resistance of wear-resistant white cast irons. Australian scientists Purasiaby Ligwan and G.D. Nelson investigated the production and evaluation of highly wear-resistant components by modifying wear-resistant white cast iron with niobium carbide. The addition of NbC leads to the formation of hard carbide particles uniformly distributed throughout the metal structure. This increases the material's hardness and improves wear resistance. With an increase in the volume fraction of NbC, the material's hardness increases from 724 HV to 812 HV. According to the study, it was found that the addition of each 1% of NbC leads to an increase in hardness by 7.3 HV. Chinese scientists Xiaohui Zhi, Jiandong Xing, Yimin Gao, Hanguang Fu, Jiyun Peng, and Bing Xiao studied the effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of white cast iron. The study analyzed an alloy of the composition Fe–17% Cr–4% C–1.5% Ti and examined the size, distribution, and volume fraction of  $M_7C_3$  and TiC carbides during heat treatment, as well as the formation of martensite. The use of low holding temperatures and long holding times close to the eutectic temperature made it possible to develop a technology for increasing the wear resistance and hardness of high-chromium cast iron modified with titanium.

In the CIS, Russian scientists P. A. Molochkov and A. S. Sozikina examined a range of factors affecting the wear resistance of white cast irons. Their work analyzed operating conditions, the chemical composition of the alloy, its structure, and the influence of heat treatment conditions. Particular attention was paid to the effect of alloying elements such as chromium and vanadium on the properties of high-chromium cast irons. The scientists developed mathematical models for predicting the final microstructure and hardness of high-chromium cast irons. These models are based on thermodynamic and kinetic principles and are used to select optimal heat treatment conditions. Belarusian researchers N. I. Urbanovich, O. S. Komarov, and I. B. Provorova (BNTU) studied the potential of using molybdenum in a complex modifier as a catalytic and modifying additive. Their analysis included examining the change in Gibbs free energy depending on temperature, as well as evaluating the interactions of molybdenum-containing catalyst components with silicon and carbon in the cast iron

melt. The scientists concluded that instead of boron, which forms refractory carbides and nitrides at high temperatures, molybdenum oxide, which is an effective source of carbide formation, can be used. The formed carbides serve as a basis for the nucleation of graphite crystals during the melting of white cast iron. Kazakh scientists A. Panichkin, A. Uskenbayeva, A. Kenzhegulov, and their colleagues also conducted research on high-chromium cast irons. They introduced modifying additives into the melt—boron, molybdenum, bismuth, tin, and calcium at a concentration of 0.2%—and studied how these elements and the cooling rate affect the structure and properties of the alloy.

Uzbek scientists A.A. Mukhammedov, F.R. Norkhudzhaev, B.K. Tilabov, A.A. Yusupkhodzhaev, S.D. Nurmurodov and others have developed technologies for improving the structure of white cast iron, creating optimal compositions, increasing its strength, and out-of-furnace processing to increase wear resistance.

**The dissertation research is related to the research plans of the higher education institution where it was completed.** This dissertation was completed under Business Agreement No. 63-7492 between Tashkent State Technical University and Almalyk Mining and Metallurgical Plant JSC, approved on August 23, 2022.

**Purpose of the study** It consists of improving the technology for increasing the wear resistance and surface hardness of cast iron 300X28H2JI.

**Objectives of the study:**

Analysis of the chemical composition of cast iron grade 300X28H2JI and determination of chemical compounds formed as a result of the addition of the element molybdenum, their influence on structural (microstructural) changes and determination of the optimal parameters for the quantity and method of introducing the modifying element.

Study of the mechanical properties of cast iron modified with molybdenum and development of modification technology on this basis, analysis of the strength, hardness and wear resistance of the alloy as a result of the influence of the added element.

Development of a technology for casting pump impellers from 300X28H2JI cast iron, determination and optimization of the level of hardness formed on the surface as a result of changing the cooling rate during the casting process.

Development of a heat treatment regime for pump blades and its practical testing. This includes determining the optimal heating, holding, and cooling stages, taking into account the wall thickness and thermal conductivity of the mold material, comparing heat-treated and modified samples, and evaluating the effectiveness of the developed technological solutions.

**Object** The material used for the study was cast iron grade 300X28H2JI, which is used at the MTMZ plant, which is part of the OKMK JSC enterprise.

**Subject of research.**

The subject of the research is the technology of obtaining a high-quality structure of wear-resistant white cast irons by modifying them and optimizing the properties of samples made from this material.

### **Research methods.**

A metallographic electron microscope model LV150N was used for structural analysis of the samples. The hardness of the studied samples was determined using the Brinell method on a Dura Vision-20 device. The chemical composition of the alloy was analyzed using a SPEKTROMETR-M5000 spectrophotometer. The Charpy method was used to evaluate impact toughness. The tensile strength was determined using a universal static testing machine. The wear resistance of the samples was assessed by the abrasive wear method using a horizontal disc with a diamond coating.

### **The scientific novelty of the study is as follows:**

A technology for modifying cast iron grade 300X28H2JI with molybdenum has been developed, based on identifying the mechanism of influence of molybdenum-containing chemical compounds on the formation of the alloy structure.

A technology has been developed for producing pump blades using casting from 300X28H2JI cast iron, based on determining the degree of influence of the cooling rate in the mold on the surface hardness of the product.

A heat treatment regime for a cast pump blade made of 300X28H2JI cast iron has been developed, taking into account the wall thickness of the part and the thermal conductivity coefficient of the mold material.

A technology for cooling a cast pump blade in a mold has been developed, based on an analysis of the dynamics of changes in the heat transfer coefficient between the mold and the casting depending on the temperature.

### **The practical results of the study are as follows:**

The technology for modifying 300X28H2JI cast iron with ferroalloys has been improved;

The heat treatment regime for cast iron alloys has been improved. As a result of this heat treatment, the mechanical properties of the cast iron have been improved;

The results of wear resistance tests of high-chromium wear-resistant cast iron alloy were analyzed;

By increasing the durability of cast parts as a result of modifying 300X28H2JI cast iron with molybdenum, the company achieved an economic benefit of 1,651,751,460 sum per year.

### **Reliability of research results.**

The reliability of the obtained results is confirmed by the fact that the task was solved based on a series of multiple experiments (5-7 studies). Modern methods were used to study the mechanical, physical, and technological properties of the obtained samples: IR spectroscopy, phase identification, obtaining one or more high-precision images, and determining surface properties using a scanning electron microscope (SEM - Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss)) and an intelligent diffractometer (Empyrean Malvern Panalytical). The mechanical properties of the alloys were determined using a P-50 M automated mechanical testing machine. Sample hardness was determined using methods implemented on a Dura Vision-20 instrument, designed for measuring the hardness of metals and alloys. The reliability of the results was confirmed by comparing the obtained data.

### **Scientific and practical significance of the research results.**

The scientific significance of this research lies in its in-depth analysis of the factors influencing the corrosion resistance of high-chromium white cast iron alloys grade 300X28H2JL. For the first time, the influence of molybdenum modification on the composition, microstructure, and phase transformations of the metal was comprehensively studied, and the optimal modification temperature and element content were determined.

New scientific data were also obtained on the mechanism of formation of carbide phases in the alloy structure and their influence on mechanical properties.

The practical significance of the study lies in the fact that the developed modification technology enabled the production of high-quality, corrosion-resistant cast iron parts using inexpensive raw materials and existing furnace equipment. Implementation of the resulting technology in production improves the quality of cast products, extends their service life, and reduces production costs.

### **Implementation of research results.**

Based on the obtained results on improving the technology for increasing the wear resistance and surface hardness of high-chromium cast iron grade 300X28H2JL:

The technology for modifying 300X28N2L cast iron with molybdenum, used in the production of GRAT pump blades by casting, has been implemented in the foundry of the MTMZ plant of the Almalyk Mining and Metallurgical Plant (according to certificate No. 02-24/01-0209 dated February 16, 2024, issued by AGMK). As a result of this implementation, disc wear resistance has increased by 10–12%.

The GRAT pump blade casting technology was implemented in the foundry of the MTMZ plant, part of the Almalyk Mining and Metallurgical Plant (according to certificate No. 02-24/01-0209 dated February 16, 2024). As a result of this implementation, the blade surface hardness increased by 7–8%.

Heat treatment technology for pump blades cast from grade 300X28H2JL cast iron has been implemented in the foundry of the MTMZ plant of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Plant (according to certificate No. 02-24/01-0209 dated February 16, 2024). As a result of this implementation, the wear resistance of the pump blades has increased by 3–4%.

**Research results were validated.** The dissertation findings were discussed at 12 scientific and practical conferences, including two international and ten national ones.

**Publication of research results.** Nineteen scientific papers have been published on the dissertation topic. Seven scientific articles have been published in scientific journals recommended for publication by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovation of the Republic of Uzbekistan, including five in national and two in international scientific and technical journals.

**Structure and length of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography, a list of symbols and terms, and appendices. The dissertation is 120 pages long.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I – bo'lim (I – часть; I – part)**

1. N.D.Turakhodjayev, Sh.M.Chorshanbiyev, F.K.Abdullayev, U.D.Eshankulov. “Selection of parts with high strength characteristics of steel using the developed optimal composition of modifiers” Tashkent State Technical University. Technical science and innovation №1/2023 year. p 168-174 (05.00.00.; №16)
2. Nozimjon Kholmiraev, Farrukhjon Abdullaev, Nodir Turakhodjaev, Mullabozorokhun Akramov, Usmon Makhamatmuratov. “Development of Technology of Mading Shafts from 35XGCL Brand Steel Alloy” International journal on integrated education. <https://journals.researchparks.org/index.php/IJIEVolume> 5, Issue 9. p.110-113 (05.00.00.; №5)
3. С.А. Расулов, Ф.К. Абдуллаев, Ш.Н. Саидходжаева, В.П. Брагина. “Особенности технологии плавки чугуна в индукционных электропечах” Узбекский научно-технический и производственный журнал. Композиционные материалы №2, 2023 с.92-95 (05.00.00.; №13)
4. С.А. Расулов, Ф.К. Абдуллаев, А.Н. Тураев, Ш.Н. Саидходжаева, В.П. Брагина. “Технология переплава стружки электрошлаковым способом” Узбекский научно-технический и производственный журнал. Композиционные материалы №2, 2023 с. 98-101 (05.00.00.; №13)
5. Ташбулатов Шерзод Бахтиярович, Абдуллаев Фаррухжон Комилжон ўғли, Чоршанбиев Шухрат Махматмуродович, Йўлдошев Омонжон Чорибоевич, Нурдинов Зокиржон Ботиржон угли. “Методы определения твердости чугуновых отливок” Scientific Journal of Construction and education ISSN 2181-3779, 2025-yil Maxsus son-1 b. 180-184(05.00.00.; №33)
6. Абдуллаев Фаррухжон Комилжон ўғли, Ташбулатов Шерзод Бахтиярович, Йўлдошев Омонжон Чорибоевич. “Способы повышения прочности чугуна 300X28H2Л путем модифицирования ферротитаном” Scientific journal of Construction and Education ISSN 2181-3779, volume 4, Issue 2 2025 b. 493-498 (05.00.00.; №33)
7. Turaxodjayev Nodir Djahongirovich, Chorshanbiyev Shuxrat Makhamatmurodovich, Abdullayev Farruxjon Komiljon o'g'li. “Development of technology to increase the evenness of parts made of high manganese steel” Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science (CAJOTAS) ISSN: 2660-5317 Table of Content - Volume 4 | No 2 (Feb 2023) p.9-13.

## II – bo‘lim (II – часть; II – part)

8. Н.Тураходжаев, Ш.Чоршанбиев, Ф.Абдуллаев. “110Г13Л маркали пулатнинг ейилишбардошга чидамли қисмларини ишлаб чиқиш”“Zamonaviy dunyoda ilm-fan va texnologiya” nomli ilmiy amaliy konferensiya. Published February 27, 2023 | Version v1 <https://doi.org/10.5281/zenodo.7683625>
9. Абдуллаев Ф.К., Тураходжаев Н.Д., Йўлдошев О.Ч. “Методы получение высокомарганцовистой стали с высокой износостойкостью в индукционных печах” “Қуймакорлик ишлаб чиқариш соҳасида ресурс ва энергиятежамкор инновацион технологиялар” мавзусидаги Халқаро миқийсдаги илмий ва илмий-техник анжуман 18-19 май, 2023, Тошкент б. 172-174
10. Абдуллаев Ф.К., Абдувахидов А.А., Жалилов Д.А. “Определение твердости стальных отливок применяемых в машиностроении” “Қуймакорлик ишлаб чиқариш соҳасида ресурс ва энергиятежамкор инновацион технологиялар” мавзусидаги Халқаро миқийсдаги илмий ва илмий-техник анжуман 18-19 май, 2023, Тошкент б. 175-177
11. Abdullaev F.K., Turakhodjaev N.D., Yuldoshev O.Ch. “Wear resistance of high chromium cast irons” «Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar» mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman. Toshkent – 2024. b. 60-62
12. Abdullaev F.K., Erkinjonov A.B., Makhmudov F.M., Yuldoshev O.Ch. “Advantages of liquidating cast iron in induction furnaces” «Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar» mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman. Toshkent – 2024. b. 129-131
13. Abdusalol Bektemirov, Nodir Turakhodjaev, Khusanboy Makhammadjanov, Sherzod Tashbulatov, Farrukh Abdullaev, Anvarjon Akhunjonov, Abdulkhamid Erkinjonov. “Characteristics of titanium nitride (TiN) in increasing the wear resistance of high-carbon steel alloys” I-CRAFT 4th International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies Collection. ISBN: 978-625-99572-2-7 2024/ p.87-89
14. Sh. Chorshanbiev, F.Abdullaev, G. Atajanov I. Nasirkhujayev. “Preparation of high-strength details from modified steel alloy 110G13L” I-CRAFT 4th International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies Collection. ISBN: 978-625-99572-2-7 2024/ p.235-239
15. Abdullaev F. K., Tashbulatov Sh. B., Yuldoshev O. Ch. Optimization of heat treatment technology to improve the mechanical properties of 300X28H2Л cast iron. Top conferences, International boletín on mechanical, civil and industrial engineering. Vol. 8 (2025) Published: 2025. p. 5-7
16. F.K. Abdullayev N.D. Turaxodjayev, Sh.B. Tashbulatov, A.B. Erkinjonov. “300X28H2Л markali yeyilishbardosh cho‘yanni molibden bilan

modifikatsiyalash” “Quymakorlik va metallarga ishlov berish sohasida energiya va resurslarni tejashga yo‘naltirilgan innovatsiyalar” mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman. Toshkent – 2025. b. 79-80

17. Sh.B. Tashbulatov, F.K. Abdullayev F.F. Omonov, O.Ch. Yo‘ldoshev, K.U. Tashxodjaeva. “300X28H2Л markali yeyilishbardosh cho‘yanni yeyilishbardoshliligini oshirish yo‘llari” “Quymakorlik va metallarga ishlov berish sohasida energiya va resurslarni tejashga yo‘naltirilgan innovatsiyalar” mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman. Toshkent – 2025. b. 69-71
18. Farrukhjon Abdullaev., Omonjon Yuldoshev., Sherzod Tashbulatov., Elyorbek Kholmatov., Tokhirjon Madiev. Research on increasing the wear resistance of 300X28H2Л cast iron alloy. Innovatech: Conference on Scientific Innovations and Research. Vol.5 (2025) p.36-39
19. Абдуллаев Ф.К., Ташбулатов Ш.Б., Йўлдошев О.Ч ., Холматов Э.М., Нарзиев Б.У., Абдусаматова О.А. Обработка литейных образцов на шлифовальном оборудовании. Международная научная и научно-техническая конференция «Интеграция науки, образования и производства в машиностроении: тенденции, проблемы и решения» Ташкент-2025 г. с. 274-276

**Босмахона лицензияси:**



**9338**

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 4. Адади 100 дона. Буюртма № 41/22.

Гувоҳнома № 851684.  
«Тірографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.

